

Altlasten-Handbuch Teil II

Untersuchungsgrundlagen

Wasserwirtschaftsverwaltung Heft 19

Ministerium für Umwelt und Verkehr

Baden-Württemberg

Kernerplatz 9

70182 Stuttgart

Bei diesem Ausdruck handelt es sich um eine Adobe Acrobat Druckvorlage. Abweichungen im Layout vom Original sind rein technisch bedingt. Der Ausdruck sowie Veröffentlichungen sind -auch auszugsweise- nur für eigene Zwecke und unter Quellenangabe des Herausgebers gestattet.

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	1
1. EINLEITUNG	2
2. ERKUNDUNGSMETHODEN	3
2.1 ALLGEMEINE VORGEHENSWEISE	3
2.1.1 Erkundungsstufen.....	4
2.1.2 Erkundungsrichtung.....	5
2.1.3 Zuständigkeiten.....	6
2.2 FERNERKUNDUNG.....	7
2.3 HYDROGEOLOGISCHE ERKUNDUNGEN.....	10
2.4 MECHANISCHE SONDIERUNGSMETHODEN	10
2.5 GEOPHYSIKALISCHE METHODEN	11
2.5.1 Messung magnetischer Anomalien.....	12
2.5.2 Gravimetrische Messungen.....	12
2.5.3 Elektromagnetische Messungen.....	12
2.5.4 Geoelektrische Messungen.....	13
2.5.5 Seismische Messungen.....	13
2.5.6 Geophysikalische Methoden im Bohrloch.....	14
2.6 CHEMISCH-PHYSIKALISCHE UNTERSUCHUNGEN	14
2.6.1 Boden- und Abfallproben.....	14
2.6.2 Wasserproben.....	17
2.6.3 Deponiegas, Bodenluft und atmosphärische Luft	23
2.7 BIOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN	25
3. DURCHPRÜFEN VON MÖGLICHKEITEN ZUR GEFAHRENMINDERUNG (D)	30
3.1 SANIERUNGSZIELE	32
3.2 SICHERUNGS- UND SANIERUNGSTECHNIKEN.....	33
3.3 VERFAHRENSVORWAHL	33
3.4 KOSTEN	35
3.5 KOSTENWIRKSAMKEITSBETRACHTUNG.....	39
3.6 SANIERUNGSVORSCHLAG.....	42
3.7 SANIERUNGSPLAN.....	43
4. ÜBERWACHUNG	46
4.1 FACHTECHNISCHE KONTROLLE (C)	46
4.2 BELASSEN IN DER ALTLASTENDATEI (B).....	48
4.3 AUSSCHIEDEN UND ARCHIVIEREN (A).....	50
5. RECHTLICHE GESICHTSPUNKTE DER ALTLASTENSANIERUNG	51
5.1 BEGRIFFSBESTIMMUNG.....	51
5.2 RECHTSGRUNDLAGEN, ZUSTÄNDIGKEIT	51
5.3 ABFALLRECHTLICHE VORSCHRIFTEN.....	52
5.3.1 Illegale Ablagerungen.....	52
5.3.2 Nachträgliche Anordnungen.....	52
5.3.3 Stilllegung von Anlagen	52
5.3.4 Abfallrechtliche Überwachung	53
5.3.5 Kostentragung.....	53
5.4 WASSERRECHTLICHE VORSCHRIFTEN.....	53

5.5 POLIZEIRECHTLICHE VORSCHRIFTEN	55
5.5.1 Anwendungsbereich	55
5.5.2 Polizeipflichtigkeit	55
5.5.3 Umfang der Polizeipflicht	56
5.5.4 Handlungs- oder Verhaltensstörer.....	57
5.5.5 Zustandsstörer.....	58
5.5.6 Auswahl unter mehreren Polizeipflichtigen	59
ANLAGEN	60
ANLAGE 1: HYDROGEOLOGISCHES ERKUNDUNGSPROGRAMM.....	60
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 1.....	62
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 2.....	63
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 3.....	64
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 4.....	65
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 5.....	66
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 6.....	68
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 7.....	69
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 8.....	70
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 9.....	71
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 10.....	72
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 11.....	73
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 12.....	74
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 13.....	75
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 14.....	77
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 15.....	79
ANLAGE 2	80
ANLAGE 3: UNTERSUCHUNGSPARAMETER	88
Anlage 3.1	88
Anlage 3.2	89
Anlage 3.3	90
Anlage 3.4	91
Anlage 3.5	92
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	93
TABELLENVERZEICHNIS	93
INDEXVERZEICHNIS.....	94

Vorwort

Aus der Zeit vor der Neuordnung der Abfallbeseitigung in Bund und Ländern zu Beginn der 70er Jahre sind eine Vielzahl ehemaliger Müllkippen und "wilder" Abfallablagerungen mit zum Teil gefährlichen Inhaltsstoffen zurückgeblieben. Zahlreiche Grundwasserschadensfälle haben deutlich vor Augen geführt, daß auch von ehemaligen Gewerbe- und Industrieflächen, soweit dort unsachgemäß mit wassergefährdenden Stoffen umgegangen wurde, erhebliche Gefahren für die Schutzgüter Wasser, Boden und Luft ausgehen können.

Neben der Vorsorge zur Vermeidung ähnlicher Risiken in der Zukunft ist die Behandlung vorhandener Altlasten eine zentrale umweltpolitische Aufgabe. Ihre Bewältigung erfordert

1. die möglichst vollständige Erhebung aller altlastverdächtigen Flächen und zugleich
2. die vorzugsweise Behandlung derjenigen kontaminierten Flächen, von denen Gefahren für Menschen oder Schutzgüter ausgehen können.

Die effektive und wirtschaftliche Sanierung einer Altlast setzt genaue Kenntnisse über Art und Umfang des Schadstoffinventars, des Maßes des Austrags dieser Schadstoffe in die Schutzgüter sowie des Transportverhaltens der Schadstoffe innerhalb eines Schutzgutes voraus.

Die Erkundungen altlastverdächtiger Flächen müssen zu nachvollziehbaren Bewertungen führen, die den Handelnden in Politik und Verwaltung in die Lage versetzen, dem Handlungsbedarf entsprechende Entscheidungen zu treffen. Das Altlasten-Handbuch enthält hierzu wichtige fachliche Grundlagen.

Die erste Auflage des Altlasten-Handbuches war innerhalb von 18 Monaten vergriffen. In der zweiten Auflage sind die Anwendungserfahrungen berücksichtigt worden, die inzwischen bei der Bewertung vieler hundert altlastenverdächtiger Flächen gewonnen wurden.

Das Altlastenhandbuch ist als praktische Arbeitshilfe für Fachleute konzipiert worden. Der sich ständig erweiternde Wissensstand auf dem noch relativ jungen Gebiet der Altlastenerfassung und -behandlung wird auch zukünftig in Fortschreibungen des Handbuches eingehen.

Dr. Erwin Vetter
Minister für Umwelt des Landes Baden-Württemberg

Stuttgart, im Dezember 1988

1. Einleitung

In Teil I des Handbuches wurde ein Verfahren zur Bewertung von altlastenverdächtigen Flächen vorgestellt. **Ergebnis der Bewertung** ist:

1. Eine Gefahrenbewertung „tatsächliches und maßgebliches Risiko“
2. Eine Einstufung des Kenntnisstandes („Beweisniveau“)
3. Eine Vorgabe für die weiteren Maßnahmen („Handlungsbedarf“)

Wie dort erläutert wurde, kann der in Frage kommende Handlungsbedarf an Altlasten folgendermaßen eingeteilt werden:

- A: Ausscheiden aus der Altlastendatei
- B: Belassen in der Altlastendatei
- C: Fachtechnische Kontrolle
- D: Durchprüfen von Möglichkeiten zur Gefahrenminderung
- E: Erkundung bis zum nächsthöheren Beweisniveau

Der vorliegende Teil II des Altlasten-Handbuches befaßt sich mit der planerischen Vorbereitung dieser Maßnahmen (Untersuchungsgrundlagen). Auf Einzelheiten der angesprochenen Methoden zur Erkundung, Sicherung, Sanierung und Kontrolle wird in diesem Teil nicht eingegangen. Dies sind Themen für weitere Teile des Altlasten-Handbuches.

In Abschnitt 2 werden die Grundsätze bei der Erkundung beschrieben. Wesentlich ist dabei das stufenweise Vorgehen. Außerdem werden verschiedene Möglichkeiten der Standorterkundung einander gegenübergestellt und gewertet. Soweit in allgemeiner Form möglich werden deren Einsatzbereiche aufgezeigt.

In Abschnitt 3 wird das planerische Vorgehen beim Durchprüfen von Möglichkeiten zur Gefahrenminderung bis hin zur Aufstellung eines Sanierungsplanes beschrieben.

Abschnitt 4 enthält schließlich Hinweise für die Überwachung eines Gefahrenherdes. Sie umfaßt:

- A: Ausscheiden aus der Altlastendatei
- B: Belassen in der Altlastendatei
- C: Fachtechnische Kontrolle

Die Hinweise beziehen sich auf den verwaltungsmäßigen Aufbau und die Zuständigkeiten der Behörden in Baden-Württemberg.

Rechtliche Gesichtspunkte werden im 5. Abschnitt behandelt. Insbesondere wird erörtert, wie wasserrechtliche, polizeirechtliche und abfallrechtliche Vorschriften in Baden-Württemberg bei der Behandlung von gefahrverdächtigen Standorten anzuwenden sind.

2. Erkundungsmethoden

Im Bewertungsverfahren, wie es im Teil I des Altlasten-Handbuches vorgestellt wurde, wird der Handlungsbedarf aus der nachstehenden Handlungsmatrix abgeleitet:

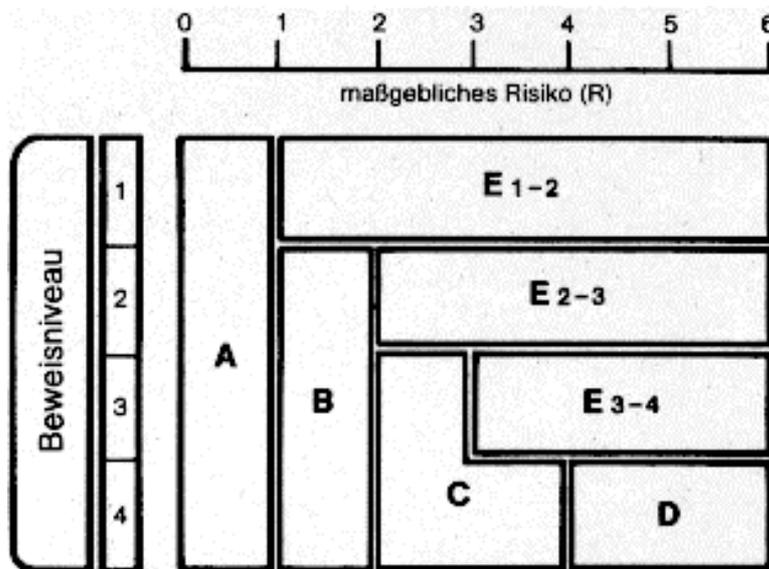


Bild 1: Handlungsmatrix

BN = Beweisniveau

R = Maßgebliches Risiko

A: Ausscheiden aus der Altlastendatei

B: Belassen in der Altlastendatei

C: Fachtechnische Kontrolle

D: Durchprüfen von Möglichkeiten zur Gefahrenminderung

E: Erkundung bis zum nächsthöheren Beweisniveau

Dabei ergibt sich in vielen Fällen die Erkundung. In diesem Teil des Altlasten-Handbuches wird erläutert, wie die Erkundung zweckmäßigerweise durchgeführt wird und welche grundsätzlichen Techniken hierfür zur Verfügung stehen.

Durch die Erkundung soll der Kenntnisstand über die Gefahrenlage stufenweise verbessert werden, bis darüber entschieden werden kann, welche Maßnahmen zur Gefahrenminderung (Abschn. 3) oder Überwachung (Abschn. 4) am Standort angemessen sind.

2.1 Allgemeine Vorgehensweise

Erfahrungen mit der Erkundung von schadstoffbelasteten Standorten liegen erst aus neuerer Zeit vor. Dabei werden sehr verschiedene Verfahren angewandt, die teilweise ursprünglich für ganz andere Anwendungsbereiche entwickelt wurden. Es wird versucht, den Einsatzbereich der gängigen Techniken darzustellen. Zu berücksichtigen ist, daß die technische Entwicklung auf diesem Gebiet keineswegs abgeschlossen ist und zukünftig neue Methoden hinzukommen

werden. Bei bekannten Methoden kann sich der Einsatzbereich dadurch ändern, daß sie weiterentwickelt und verfeinert werden.

Vor allem solche Erkundungstechniken, die in der Praxis eingeführt und bewährt sind, werden behandelt. Auf die vielfältigen Spezialverfahren zur Untersuchung von Detailaspekten kann hier nicht eingegangen werden.

Auch bei größtem meßtechnischem Einsatz kommt noch immer der Sachkenntnis und Erfahrung jener Personen große Bedeutung zu, welche die Erkundung planen, durchführen und die Ergebnisse bewerten. Sinnliches Wahrnehmen, wie Riechen, Sehen und Tasten, kann manchmal wichtiger sein als der Einsatz aufwendiger Technik. Orientierende, einfache Erkundungstechniken wie z.B. das Wässern einer Sondenprobe zur Erkennung von Mineralölanteilen oder die Beobachtung von Fauna und Flora zur Erkennung von Veränderungen in der Umwelt - führen oft schon zu aussagekräftigen Ergebnissen.

Wissenschaft und Forschung beschäftigen sich in zunehmendem Maße mit der Erkundung von schadstoffverdächtigen bzw. -belasteten Standorten. Dies läßt verhältnismäßig schnelle Veränderungen der Erkundungstechnik und bei der Bewertung von Untersuchungsergebnissen erwarten.

2.1.1 Erkundungsstufen

Bevor die hier beschriebenen Erkundungen durchgeführt werden, müssen die Erhebung und die historische Erkundung durchgeführt werden, wie sie in Teil I des Handbuches beschrieben sind.

Die **technische Erkundung** einer Altlast kann in drei Stufen aufgeteilt werden:

1. Die **indikative bzw. orientierende Erkundung** (E₁₋₂)

Sie führt von Beweismiveau 1 auf 2 und hat folgendes Ziel:

- Erkennen von Belastungen bzw. Beeinträchtigungen des Schutzgutes oder
- Erkennen von Schadstoffen im Gefahrenherd

Das Ziel ist dann erreicht, wenn entschieden werden kann, ob der Standort aus der Altlastendatei ausgeschieden werden kann bzw. für den Fall von Nutzungsänderungen darin belassen oder ob weiter erkundet werden muß.

Dabei werden hauptsächlich die folgenden Methoden angewandt:

- Auswertung sinnlich wahrnehmbarer Hinweise
- Beobachtung von Flora und Fauna (passives Biomonitoring; vgl. Abschn. 2.7)
- Chemisch-physikalische Untersuchungen (Parameter Stufe 1; vgl. Abschn. 2.6) an bestehenden oder mit beschränktem technischem Aufwand herstellbaren Meßstellen, z.B. Grundwasserpegel, Sickerwasseraustritte
- Einfache technische Methoden wie Schürfen, Sondieren, Bodenluftuntersuchungen (vgl. Abschn. 2.6.3)

2. Die nähere bzw. Gesamterkundung (E_{2,3}) führt von Beweisniveau 2 auf 3 und hat folgendes Ziel:

- Beschaffung eines Überblickes über Art und Umfang des Gefahrenherdes und das räumliche Ausmaß der Schadstoffbelastung (Grobabgrenzung)
- Fundierte Bewertung der Stoffgefährlichkeit
- Fundierte Bewertung von Schadstoffaustrag, -eintrag, -wirkung und -transport

Das Ziel ist dann erreicht, wenn entschieden werden kann, ob die Altlast fachtechnisch zu kontrollieren ist oder ob weitere Erkundungen notwendig sind.

Dabei werden hauptsächlich die folgenden Methoden angewandt:

- Mechanische und geophysikalische Sondierungsmethoden (vgl. Abschn. 2.4 und 2.5)
- Chemisch-physikalische Untersuchungen (Parameter-Stufe 2; vgl. Abschn. 2.6), ggf. in engerem Raster
- Bodenluftmessungen, ggf. in engerem Raster
- Biomonitoring (vgl. Abschn. 2.7)

3. Die eingehende Erkundung für Sanierungs- bzw. Sicherungsvorschläge (E_{3,4}) führt von Beweisniveau 3 nach 4. Sie hat folgende Ziele:

- Genaue Abgrenzung von Schadstoffherd und Umfeld
- Ermittlung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schadstoffen
- Detaillierte Kenntnisse über die Stoffart und -gefährlichkeit (Parameterstufe 3; vgl. Abschn. 2.6)

Das Ziel ist erreicht, wenn entschieden werden kann, ob der Standort fachtechnisch zu kontrollieren ist oder ob Möglichkeiten zur Gefahrenminderung durchgeprüft werden müssen.

Als Methoden kommen in Frage:

- Gezielte weiterführende systematische Erkundungen
- Mechanische und geologische Sondierungsmethoden (vgl. Abschn. 2.4)
- Hydrogeologische Erkundung (Pumpversuche, Markierungsversuche; vgl. Abschn. 2.5)
- Modellrechnungen
- Spezialgutachten
- Weitergehende chemisch-physikalische Untersuchungen (vgl. Abschn. 2.6)

2.1.2 Erkundungsrichtung

Es gibt verschiedene Verfahren zur **Erkundung** von altlastenverdächtigen Flächen. Prinzip und Anwendungsmöglichkeiten von gängigen Verfahren werden in den folgenden Abschnitten aufgezeigt. Dabei gibt es sowohl hinsichtlich der Leistungsfähigkeit als auch der Kosten erhebliche Unterschiede. Es gilt nun Umfang und Verfahren der Erkundung so festzulegen, daß mit einem Minimum an Aufwand das nächsthöhere Beweisniveau bzw. das erforderliche **Erkundungsziel** erreicht werden kann. Die Verschiedenheit der vorkommenden Fälle erlaubt

es nicht, allgemeingültige Rezepte zu entwickeln - es muß jeweils für den Einzelfall entschieden werden. Im folgenden wird aufgezeigt, wie man dabei vorgehen kann und welche Gesichtspunkte berücksichtigt werden müssen.

Zunächst sollte man versuchen, aus dem Bewertungsprofil, wie es im Bewertungsbogen während der Gefahrenbeurteilung entsteht, jene Faktoren herauszuarbeiten, welche die Gefährdung am stärksten bestimmen und über deren Kenntnis am ehesten und einfachsten das nächsthöhere Beweismiveau erreicht werden kann. Ein Beispiel: Der Gefahrenherd liegt oberhalb eines Porengrundwasserleiters und Stoffgefährlichkeit sowie Schadstoffmenge sind hinreichend bekannt. In einem solchen Fall wird man zunächst durch Grundwasseruntersuchungen weiter erkunden, also das Beweismiveau im Bereich „Wirkung und Transport im Schutzgut“ erhöhen.

Liegt jedoch ein solcher Gefahrenherd auf einer abschirmenden Tonschicht über einem Karst- oder Kluft-Grundwasserleiter, in welchem die Entnahme von repräsentativen Grundwasserproben kaum möglich ist, so wird man zunächst weitere Untersuchungen an der Tonschicht anstellen und ihre Bedeutung für den Risikobereich „Austrag des Schadstoffes“ ermitteln.

Untersuchungen zur Ermittlung von Stoffart und -gefährlichkeit führen gerade bei Altablagerungen deshalb häufig nicht gleich zum Ziel, weil es sehr schwierig ist, repräsentative Proben zu nehmen. In solchen Fällen erlauben mitunter Untersuchungen des Sickerwassers, des anstehenden Grundwassers, der Bodenluft oder des Deponiegases - also Untersuchungen im Bereich „Austrag“, „Eintrag“ und „Transport und Wirkung“ - Rückschlüsse auf Bestandteile der Altablagerung und damit auch Hinweise auf die Stoffgefährlichkeit.

Häufig müssen verschiedene Erkundungsmethoden zur Verbesserung des Kenntnisstandes an einem Standort angewandt werden. Dabei muß abgewogen werden, ob es günstiger ist, sie gleichzeitig oder stufenweise hintereinander durchzuführen. So können z.B. Schürfgruben gleichzeitig zur Bestimmung der Ausdehnung der Schadstoffbelastung, zur Entnahme von Abfall-, Boden- oder Wasserproben und zu geohydrologischen Untersuchungen genutzt werden.

Bei der Durchführung von **Erkundungsmaßnahmen** muß man besonders auf folgende Punkte achten:

- Die Gefahr für eines der Schutzgüter darf durch die Eingriffe nicht erhöht werden, z.B. wenn schützende Trennschichten durchbrochen werden können.
- Die Randbedingungen zum Zeitpunkt der Erkundung müssen protokolliert und ggf. durch fotografische Aufnahmen festgehalten werden.

2.1.3 Zuständigkeiten

Das Wasserwirtschaftsamt koordiniert und überwacht i.d.R. behördlicherseits die **Erkundungsmaßnahmen**. Behördliche Aufgaben sind dabei:

- Vorgabe der Erkundungsziele
- Fachtechnische Kontrolle der Erkundung und Terminüberwachung
- Durchführung von Ortsbegehungen

- Dokumentation der Ergebnisse in der Altlastendatei als Teil des Programmpakets „Arbeitsdatei für wasser- und abfallwirtschaftliche Objekte mit Überwachungssystem“

Die eigentliche Ausführung der Erkundungsmaßnahmen erfolgt durch Fachfirmen oder Sachverständige.

Eine umfassende Information über den Stand der Erkundungen für die Träger öffentlicher Belange muß sichergestellt werden. Gefahrverdächtige Standorte sollten in den Bauleitplänen, Bodennutzungs- und Bodenwertkarten geführt werden.

Für die Information der Öffentlichkeit ist festzulegen, welche Behörde die Auskünfte erteilt. In den meisten Fällen ist dies die untere Wasserbehörde. Zur Information der Öffentlichkeit wird auf den Erlaß des Ernährungsministeriums vom 08.03.1984, Az: 754040 an die Regierungspräsidien verwiesen.

2.2 Fernerkundung

Die Fernerkundung befaßt sich mit der Auswertung und Interpretation von Luftbildern oder luftbildähnlichen flächigen Darstellungen der Erdoberfläche, die von Flugzeugen oder Satelliten aus aufgenommen wurden.

Je nach Sensor und Spektralbereich lassen sich verschiedene Systeme unterscheiden, die in Tabelle 1 zusammengestellt sind.

In der Praxis sind für die Fernerkundung von Altlasten vor allem photographische **Luftbilder** von Bedeutung, die von Flugzeugen aus aufgenommen wurden. Die Gründe hierfür sind:

- Satellitenbilder liefern wegen der noch zu geringen Bodenauflösung für die Erfassung von Altlasten keine hinreichenden Informationen
- Aufnahmen mit Abtastern (Scannern) stehen erst seit vergleichsweise kurzer Zeit und meist nur in Ausnahmefällen zur Verfügung
- Photographische Luftbilder, von Flugzeugen aus aufgenommen, werden seit vielen Jahrzehnten in relativ kurzen Zeitabständen angefertigt. Sie bieten daher methodisch und technisch die besten Möglichkeiten, um über systematische und multitemporale Bildanalysen Altlasten zu erfassen.

Art der Luftbilder

Es werden zwei Arten von Luftbildern unterschieden: Schrägbilder und Senkrechtbilder. Bei **Schrägbildern** wird aus dem Flugzeug schräg nach unten photographiert. Die Bilder sind sehr anschaulich.

Senkrechtbilder werden vom Flugzeug aus senkrecht nach unten aufgenommen. Sie liegen meist als Reihenmeßbilder mit Längsüberdeckung vor, so daß zwei aufeinanderfolgende Bilder mit Hilfe entsprechender Betrachtungsgeräte stereoskopisch analysiert werden können. Die Luftbildinterpretation benutzt überwiegend Senkrechtbilder.

Verfügbarkeit der Luftbilder

Photographische Luftbilder von Deutschland gibt es seit dem 1. Weltkrieg. 1926 wurde die Hansa-Luftbild als Tochter der Deutschen Lufthansa gegründet, die zum führenden Luftbildbetrieb Deutschlands wurde. Weitere Bilder stammen aus den Befliegungen der Briten und Amerikaner während des Krieges bis etwa 1950. Seit Anfang der 50er Jahre finden wieder Befliegungen durch deutsche Luftbildunternehmen in mehr oder weniger regelmäßigen Zeitabständen statt. Es gibt in Deutschland kein Zentralarchiv für Luftbilder. Um ältere Aufnahmen zu finden, empfiehlt es sich, vor Ort in den Gemeinde- und Kreisarchiven zu suchen und dabei auch auf Schrägbilder zu achten.

Aufnahmen aus Beständen der Hansa-Luftbild finden sich im nordrhein-westfälischen Hauptstaatsarchiv, Düsseldorf. Aufnahmen der Alliierten aus den Kriegsbefliegungen sind am Geographischen Institut der University of Keele, Staffordshire GB, gelagert.

Über Bilder bzw. Originalnegative der jüngeren Befliegungen geben die Vermessungsverwaltungen der Länder Auskunft. Für Baden-Württemberg ist dafür zuständig:

Landesvermessungsamt Baden-Württemberg
Büchsenstraße 54
7000 Stuttgart 1

Interpretation der Luftbilder

Die Interpretation von Luftbildern, besonders die multitemporale Auswertung konventioneller Reihenmeßbilder, stellt ein wichtiges Instrumentarium zur Lokalisierung und Erkundung von Altlasten dar. Das in den Luftbildern enthaltene Informationsmaterial sollte genutzt werden.

Eine wichtige Ergänzung der Luftbild-Interpretation kann in vielen Fällen eine - ebenfalls multitemporale - Kartenanalyse darstellen.

Tab. 1: Überblick über Sensorsysteme und ihre Anwendung in der Fernerkundung

Art der Aufnahme	Hauptsächliche Nutzung	Historische Aufnahmen liegen vor bei	Mögliche Nutzungen für Altlast-Erkundung
Kamerasystem Fotografische Aufnahmen aus dem sichtbaren Bereich des Spektrums; i.d.R. schwarz-weiß-Luftbilder; Maßstäbe zwischen 1:3000 und 1:50000	Landvermessung (Topographische Karten), Bestandskartierung, Planungsunterlagen, Flurbereinigung, Luftbildgeologie, Massenbestimmung, Beweissicherungsverfahren	Landesvermessungsämter, Forstwirtschaft, Städte, Straßenbau, Bundesbahn, Flurbereinigung, Militär, Bauplanungen (Pipeline)	Auswertung hist. Aufnahmen zur Ermittlung der zeitl. und räuml. Entwicklung einer Ablagerung, Hinweise auf abgelagerte Stoffe bzw. Gegenstände
Farbinfrarot-Aufnahmen aus dem Infrarotbereich (auch Falschfarbenfotografie genannt)	Landwirtschaft (Realnutzungspläne), Forstwirtschaft (Waldsterben), Vegetationsuntersuchungen (Biotope), Städte (Zustand der Straßenbäume)	Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Städte, Militär	Aufwuchsschäden durch Altablag., Sickerwasseraustritte, Deponiegasschäden, Feuchtigkeitsunterschiede des Bodens, Verdichtungszone
Abtastersystem (Scanner) Erfassung der Reflexion von Oberflächen durch opto-mechanische Zeilenabtaster für Aufnahmen vom ultravioletten über den sichtbaren bis zum infraroten Bereich, Originaldaten digital auf Magnetband	Ermittlung der Temperaturverteilung, Suche nach Wärmebrücken an Gebäuden, Rohrleitungen etc., gut geeignet für EDV, weil die Aufnahme-daten als elektrische Impulse vorliegen	Wasserbau (Eintritt von Kühlwasser in den Vorfluter), Militär, Geologie, Bodenkunde, Meteorologie, Klimatologie, Vegetationskunde, Realnutzungskartierungen	Erkennen von: - Vegetationsart - Vegetationszustand - Altablagerungen mit biologischer Tätigkeit durch höhere Oberflächentemperatur (Eigentemp.), Erkennen von Einzelobjekten aufgrund Temperaturkontrast zur Umgebung, Feuchtigkeitsunterschiede, Schwermetallbelastung der Böden
Mikrowellensystem (Radar) Aufnahmen mit dem Seitensichtradar senkrecht zur Flugrichtung, die von der Radarantenne ausgesandten Strahlen werden von der Erdoberfläche reflektiert (aktives Verfahren)	Militärisch geringe Abhängigkeit von Beleuchtungsverhältnissen und Witterung	Militär	Durch Verwendung längerer Wellenlängen könnte der maskierende Effekt von Überdeckung und Vegetation durchdrungen und Untergrundformation erkannt werden

2.3 Hydrogeologische Erkundungen

Zur Beurteilung der Gefährdung für Grundwasser und eingeschränkt auch für Oberflächengewässer, die von einer Altlast ausgeht, müssen die **hydrogeologischen Untergrundverhältnisse** bekannt sein. In vielen Fällen lassen sie sich aus den vorhandenen geologischen Unterlagen mit ausreichender Genauigkeit ermitteln. In komplizierten oder kritischen Fällen oder wenn die Unterlagen unzureichend sind, müssen sie durch entsprechende Untersuchungen ermittelt werden.

Wenn man eine Kontamination nachweisen und verfolgen will, müssen ausreichende Kenntnisse über den gefährdeten Grundwasserleiter vorliegen. Dies bedeutet, daß zahlreiche hydrogeologische Daten auch für einen weiter ausgreifenden Bereich zu ermitteln sind. Dazu sind entsprechend umfangreiche Erkundungen erforderlich.

Ist die Kontamination nachgewiesen und ihr Ausmaß bekannt, so können Sicherungs- oder Sanierungsmaßnahmen notwendig werden, für deren Planung und Durchführung zuerst ebenfalls zusätzliche Informationen über den Untergrund und betroffenen Grundwasserleiter benötigt werden.

Für hydrogeologische Untersuchungen eignen sich z.B.:

- Pumpversuche
- Wasserstandsmessungen in Grundwasser-Meßstellen
- Markierungsversuche, ggf. in Verbindung mit der Untersuchung gewisser Parameter (vgl. Abschn. 2.6.2.1)

In Anlage 1 sind tabellarisch für 15 verschiedene Standorttypen erforderlichenfalls zu ermittelnde Gegebenheiten und Größen sowie die hierfür in Frage kommenden Untersuchungsmethoden aufgeführt. Fallweise ist festzulegen, welche dieser Angaben benötigt werden und welche Untersuchungsmethoden sich dafür eignen.

Die Aufstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

2.4 Mechanische Sondierungsverfahren

Als **mechanische Sondierungsverfahren** gelten:

- Drucksondierung
- Leichte Rammsondierung mit dem 10-kg-Fallgewicht
- Schwere Rammsondierung mit dem 50-kg-Fallgewicht
- Schwere Rammsondierung mit Messung des geoelektrischen Widerstandes an der Sondenspitze

Mit diesen Methoden lassen sich unterschiedliche Ablagerungs-Schichten erkennen, da sich der Druck- bzw. Rammwiderstand an den Grenzen solcher Schichten meßbar ändert. Für die Tiefenerkundung von Altablagerungen eignet sich besonders die Rammsondierung, bei der die

jeweils erforderliche Schlagzahl für die Durchdringung einer bestimmten Strecke (z.B. 15 oder 20 cm) aufgezeichnet wird. Mit einer tragbaren, leichten Rammsonde lassen sich bindige oder sandig-kiesige Deckschichten und dünnlagige, leicht durchdringbare Ablagerungsschichten - z.B. Schlamm oder Staub - erfassen. Für die Tiefensondierung von üblichen Gemischtmüllablagerungen (Hausmüllkippen) eignet sich auch die fahrzeuggebundene schwere Rammsonde.

Das Verfahren erkennt jedoch nur unterschiedliche Rammwiderstände. Wenn Schichten mit verschiedener Zusammensetzung, aber gleichem Ramm-Widerstand aufeinanderliegen - z.B. Schluff- und Industrieschlamm dann sind zusätzliche Verfahren notwendig. Wenn in solchen Fällen gleichzeitig zur Ramm-Sondierung der geoelektrische Widerstand an der Sondenspitze gemessen wird, können Schichten gleichen Rammwiderstandes ggf. an ihrer unterschiedlichen Leitfähigkeit erkannt werden. Außerdem kann so auch die Lage des Grundwasserspiegels erkannt werden.

Die mechanischen Verfahren verfügen nur über eine beschränkte Vortriebskraft, deshalb bereitet ihr Einsatz immer dann Schwierigkeiten, wenn mit Bauschuttablagerungen o.ä. zu rechnen ist.

Die Leistungsgrenze für die Tiefensondierung liegt unter günstigen Voraussetzungen bei ca. 10 m für die leichte Rammsonde und bei ca. 20 m für die schwere Rammsonde.

2.5 Geophysikalische Methoden

- Messung von magnetischen Feldern
- Gravimetrische Messungen
- Elektromagnetische Messungen
- Geoelektrische Messungen
- Seismische Messungen

Geophysikalische Methoden stellen eine indirekte Möglichkeit der Erkundung des Untergrundes dar. Sie sollten daher nur in Verbindung mit anderen Methoden eingesetzt werden, etwa mit Bohrungen, Boden- und Wasseruntersuchungen oder den genannten mechanischen Sondierungsmethoden. Nur dann führen sie zu den gewünschten vollständigen Informationen über den Untergrund einer Altlast. Zur Beurteilung des strukturellen Aufbaus des Untergrundes sind geophysikalische Messungen gut geeignet. Sie liefern auch wertvolle Hinweise für den Ansatz weiterer Bohrungen und den Verlauf von Horizonten, die bereits auf andere Weise ermittelt worden sind. Wenn sie in eine Kette von geophysikalischen Untersuchungen eingebunden werden können, sind sie besonders aussagefähig.

Geophysikalische Messungen eignen sich sowohl für die Abgrenzung von Schadstoffherden als auch für die Erkundung von Struktur und Aufbau des Untergrundes. Zur Verfolgung einer Kontamination reicht ihre Empfindlichkeit aus systemtechnischen Gründen allerdings meistens nicht aus.

Zur Interpretation der Meßwerte von geophysikalischen Methoden ist neben einer guten Ortskenntnis große Erfahrung erforderlich. Auch zur Auswahl der jeweils geeigneten Untersuchungsmethode gehören umfangreicher Sachverstand und Erfahrung. Im folgenden wird ein

kurzer Überblick über die gängigen Verfahren gegeben - soweit Erfahrungen mit ihrem Einsatz bei Altlasten vorliegen, wird darauf eingegangen.

2.5.1 Messung magnetischer Anomalien

Magnetisch wirksame Stoffe wie Stahlschrott, Schlacke, Ziegelbruch, manche keramische Materialien u.a. verursachen Anomalien im magnetischen Feld der Erde. Diese können gemessen werden.

Voraussetzung für die Anwendung des Verfahrens ist ein bestimmter magnetischer Kontrast zwischen Fremdmaterial und Umgebung. Unter günstigen Bedingungen können Ort und ungefähre Tiefenlage von ferromagnetischen Ablagerungen bestimmt werden, besonders dann, wenn sie nahe an der Oberfläche liegen. Eine Abschätzung von Form und Größe der Gegenstände ist jedoch nicht möglich.

Stromleitungen, Gebäude, Sender u.a. können sich bei der Anwendung der Methode u.U. störend auswirken.

2.5.2 Gravimetrische Messungen

Bei diesem Verfahren werden oberirdisch wahrnehmbare lokale Änderungen des Schwerefeldes der Erde gemessen.

Hinweise für einen erfolgreichen Einsatz dieser Methode bei der Erkundung von Altlasten liegen allerdings bislang noch nicht vor.

2.5.3 Elektromagnetische Messungen

Bei diesem Verfahren wird künstlich ein elektromagnetisches Feld angelegt, dessen oberirdisch wahrnehmbare Veränderungen ausgewertet werden. Die Informationen lassen sich aus der Variation von Frequenz und Anordnung von Sende- und Empfangseinrichtung gewinnen.

Man unterscheidet folgende gängige Verfahren:

- Metalldetektor
- Elektromagnetische Profilierung
- Elektromagnetische Sondierung
- Radarmessung

Elektromagnetische Messungen eignen sich für eine schnelle Kartierung. Wegen der Ausladung der Sonden ist dichter Busch- und Baumbestand bei der Anwendung der Methode hinderlich. Auch Freileitungen und Sender können störend wirken.

Mit Radarmessungen kann oft die genaue Lage und Tiefe der Grenzfläche zwischen Deponie und dem umgebenden Material bestimmt werden. Sie eignet sich grundsätzlich zur schnellen, flächendeckenden Kartierung. Unter günstigen Bedingungen, z.B. hindernisarme, trockene, nicht bindende Deckschicht, homogener Untergrund, Objektiefe bis 10 m, eignet sie sich zur

Ortung von Einzelobjekten aus bestimmten Metallen. Die Messungen sind jedoch relativ teuer.

2.5.4 Geoelektrische Messungen

Bei diesem Verfahren wird der scheinbare elektrische Widerstand des Untergrundes gemessen.

Es ist besonders geeignet für die Unterscheidung von tonigen und kiesig-sandigen Schichten, aber auch metallische Körper im Untergrund können geortet werden, wenn sie nicht zu tief liegen und nicht von gut leitendem Boden abgedeckt sind.

I.d.R. lassen sich wassergefüllte Bereiche mit einer höheren Leitfähigkeit gegenüber der Umgebung aufspüren.

Leitungen, Kabel, Rohre etc. im Untergrund können das Verfahren stören. Auch Beton- und Asphaltdecken wirken beeinträchtigend.

2.5.5 Seismische Messungen

Bei diesem Verfahren wird die unterschiedlich schnelle Ausbreitung und oder Reflektion von künstlich erzeugten mechanischen Schwingungen bzw. Impulsen im Untergrund ausgewertet. Die Schwingung kann durch Hammerschlag, Fallgewicht, Sprengung o.ä. angeregt werden.

Besonders große Unterschiede treten hierbei zwischen trockenen und wassergefüllten Lockersedimenten auf. Deshalb sind seismische Messungen besonders gut zur Ermittlung der Tiefenlage des Grundwasserspiegels geeignet. Sie werden auch für die Erkundung von Karststrukturen benutzt.

Das Verfahren eignet sich aber auch zur Ermittlung der Grenzschicht zwischen Altlast und umgebendem Gelände. In gewisser Nachteil des Verfahrens ist, daß bei mächtigen Hausmüllablagerungen durch die relativ hohe Dämpfung des Materials sehr viel Energie eingetragen werden muß, die nur durch Sprengung aufgebracht werden kann. Sprengungen dürfen jedoch je nach Stärke nur von autorisierten Personen nach besonderer Genehmigung durchgeführt werden; in bestimmten Gebieten sind sie überhaupt nicht zulässig. Beton- und Asphaltdecken wirken bei diesem Verfahren beeinträchtigend.

Für die schnelle Erkundung und Kartierung von Altablagerungen erscheinen besonders magnetische, elektromagnetische und geoelektrische Messungen geeignet, die auch kombiniert werden können. Zur Erkundung von besonders komplizierten hydrogeologischen Verhältnissen können die aufwendigeren seismischen und geoelektrischen Messungen - eventuell in Kombination - notwendig werden.

2.5.6 Geophysikalische Methoden im Bohrloch

Mit **geophysikalischen Messungen im Bohrloch** können Rückschlüsse gezogen werden auf:

- die Lithologie des Untergrundes, z.B. Tonschichten, Porosität u.a.
- die Lage der Wassersättigungszone
- die Fließgeschwindigkeit und Strömungsrichtung des Grundwassers

Diese Untersuchungen werden mit geeigneten Sonden durchgeführt, dabei sind die folgenden Sonden üblich:

- Induktionssonde (Eigenpotentialmessung)
- Sonde zur Messung des elektrischen Widerstandes
- Gamma-Sonde
- Neutronensonde
- Temperatursonde
- Durchflußmeßgerät

Für spezielle Anwendungen sind weitere Sonden entwickelt worden, die im Einzelfall eingesetzt werden können.

Der Einsatz von geophysikalischen Sondierungsverfahren ist normalerweise erst ab dem Erkundungsschritt „E₂₋₃ - Nähere bzw. Gesamterkundung“ sinnvoll. Meist empfiehlt sich eine kombinierte Anwendung der oben beschriebenen Verfahren.

2.6 Chemisch-physikalische Untersuchungen

2.6.1 Boden- und Abfallproben

Untersuchungsziel

Die chemisch-physikalische Untersuchung von Boden- bzw. Abfallproben liefert Informationen über deren Schadstoffgehalte und die Mobilität dieser Stoffe unter bestimmten, festgelegten Bedingungen. Diese Informationen sind wichtig für die

- Ermittlung von Art und Ausmaß einer Kontamination,
- Ermittlung des Verursachers einer Schadstoffbelastung,
- Beurteilung der Mobilität von Schadstoffen,
- Beobachtung des zeitlichen Verlaufs und die Abschätzung der zukünftigen Entwicklung einer Kontamination,
- Abschätzung der Stoffgefährlichkeit,
- Entscheidung über die Erforderlichkeit von Sicherungs- oder Sanierungsmaßnahmen,
- Festlegung zweckmäßiger Behandlungs-, Sanierungs- oder Sicherungstechniken,
- Ermittlung der Restkontamination nach Sanierung oder Sicherung.

Probennahme

Die Durchführung der Probennahme hat großen Einfluß auf die Untersuchungsergebnisse. Deshalb hängt auch die Aussagekraft einer Untersuchung in hohem Maße von der Probennahme ab. Sie ist daher sorgfältig zu planen, vorzubereiten und auszuführen.

An Fragestellung und Untersuchungsziel muß sich die Probennahme, der Untersuchungsumfang und die Analysentechnik orientieren.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Entnahme von Boden- und Abfallproben, beispielsweise Schürfungen, Kernbohrungen, Schlitzsondierungen, Spiralbohrungen.

Die Probennahmetechnik ist von demjenigen festzulegen, der anschließend die Bewertung der Untersuchungsergebnisse vorzunehmen hat. Hierbei muß vor allem berücksichtigt werden:

- Fragestellung und Untersuchungsziel,
- die geforderte Genauigkeit und der Umfang der Untersuchungen,
- die zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel.

Bei einer sachgerechten Probennahme ist besonders auf folgende Punkte zu achten:

- der Probennehmer muß den Sachverhalt genau kennen beziehungsweise entsprechend eingewiesen werden,
- geeignete Probennahmegeräte und -gefäße müssen verwendet werden, vorzugsweise Weithalsgefäße mit Schraubdeckel, 0,25 bis 1 Liter Inhalt,
- sachgerechte Entnahme und Abfüllung,
- ausreichende Probemenge,
- Kontaminationen von außen, z.B. durch kontaminierte Probennahmegeräte oder Schadstoffverschleppungen aus angrenzenden Bereichen, müssen vermieden werden,
- die Probe muß bis zur Untersuchung sachgerecht transportiert und gelagert werden, so daß möglichst wenig Veränderungen auftreten,
- Protokollierung der Probennahme, beispielsweise Kartierung der Probennahmestellen, Beschriftung der Proben.

Soll beispielsweise auf leichtflüchtige Bestandteile untersucht werden, so ist darauf zu achten, daß diese nicht schon während der Probennahme oder bis zur Untersuchung im Labor entweichen. Gegebenenfalls müssen spezielle Maßnahmen bei Probennahme, Transport und Lagerung ergriffen werden.

Soll auf leicht abbaubare Stoffe untersucht werden, so muß entweder die Untersuchung innerhalb sehr kurzer Zeit erfolgen oder die Proben müssen entsprechend stabilisiert (z.B. tiefgekühlt) werden.

In Böden und noch stärker bei Abfallstoffen kann sich der Schadstoffgehalt über sehr kleine Entfernungen stark ändern. Der Probennehmer, der vor Ort die genaue Lage der einzelnen Probennahmestellen bestimmt, sollte deshalb über das Untersuchungsziel genau informiert sein - beispielsweise ob es darum geht, einen Verunreinigungsbereich im Gelände abzugrenzen oder die Maximalkonzentration für ein bestimmtes Behandlungs- oder Beseitigungsverfahren festzulegen.

Bei heterogen zusammengesetzten Abfällen oder Böden ist es schwierig, repräsentative Proben zu entnehmen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn Hausmüll mit Industrie- und Gewerbeabfällen gemischt ist. Hier sollte überlegt werden, ob nicht auf andere Art und Weise das Untersuchungsziel erreicht werden kann, etwa durch Grundwasser-, Sickerwasser- oder Gasuntersuchungen.

Auf die Richtlinie der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) PN 2/78 - „Entnahme und Vorbereitung von Proben aus festen, schlammigen und flüssigen Abfällen“ (Stand 12/83) wird verwiesen.

Müssen die Proben repräsentativ für die Gesamtheit des zu beurteilenden Materials sein, so kann nach den Grundregeln PN 2/78 K der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) für die Entnahme von Proben aus Abfällen und abgelagerten Stoffen (Stand 12/83) vorgegangen werden.

In der Regel werden die Untersuchungen stufenweise durchgeführt.

Anlage 3 enthält Formulare, an denen man sich bei der Auswahl von Untersuchungsparametern in praktischen Fällen orientieren kann.

Es ist zweckmäßig, bis zum vollständigen Abschluß der Untersuchungen Rückstellproben aufzubewahren.

Analysentechnik

Die Analysentechnik hat sich nach Fragestellung (dem Untersuchungsziel) und geforderter Genauigkeit zu richten.

Die in Abfall- oder Bodenproben enthaltenen Stoffe sind nur in wenigen Fällen direkt meßbar, d.h. ohne Vorbehandlung der Probe. Meist müssen sie vorher aufgeschlossen oder eluiert werden.

Beim Aufschluß geht es darum, den zu analysierenden Stoff möglichst vollständig aus dem Abfall- oder Bodenmaterial herauszulösen. Der Aufschluß erfolgt - je nach Untersuchungsparameter und Art der Probe - mit Säuren, Laugen, organischen Lösungsmitteln, Schmelzen u.ä.. Mitunter muß die Probe zuvor mechanisch aufbereitet werden, z.B. durch Sieben oder Zerkleinern.

In der Regel interessiert nicht nur der absolute Gehalt von Schadstoffen, sondern auch, wie diese in der Umwelt, beispielsweise unter dem Einfluß von Niederschlagswasser, mobilisierbar sind.

Die Auslaugbarkeit oder Löslichkeit von Schadstoffen wird meist an Eluat untersucht. Dazu wird die Probe mit dem Elutionsmedium zusammengebracht und untersucht, welche Schadstoffkonzentrationen sich im Elutionsmedium eingestellt haben. Im Unterschied zum Aufschluß geht es also beim Eluat nicht um Gesamtschadstoffgehalte, sondern um die Löslichkeit einzelner Stoffe unter definierten Bedingungen.

Elutionsmedium kann sein: destilliertes Wasser, künstlich hergestelltes Sickerwasser, n/10 Essigsäure, n/10 Salzsäure, n/10 Natronlauge, organische Lösemittel u.a.. Meist wird destilliertes Wasser verwendet.

Je nach Aufgabenstellung kann der Elutionsversuch verschieden durchgeführt werden. Man unterscheidet z.B.:

- Schütteleluat, Rühreluat, Säuleneluat,
- Einfach- oder Mehrfacheluat.

Ferner kann variiert werden:

- das Mengenverhältnis von Probe zu Elutionsmittel,
- die Elutionszeit,
- das Elutionsmedium.

Auf die Norm zur Eluierbarkeit DIN 38414 Teil 4 wird hingewiesen.

Untersuchungsmethode, Aufschluß- bzw. Elutionsverfahren bestimmt derjenige, der die Untersuchungsergebnisse bewertet.

Die Schadstoffkonzentration ist bei Abfällen meist weit höher als bei schadstoffbelasteten Böden, bei denen die Belastung in der Regel von außen eingetragen wurde.

Art und Herkunft der Proben sowie möglicherweise enthaltene Schadstoffe und das Untersuchungsziel sind dem Laborleiter mitzuteilen, damit er Analyse- und Aufschluß- bzw. Eluierverfahren in Art, Empfindlichkeit und Genauigkeit darauf abstimmen kann.

2.6.2 Wasserproben

Neben der Untersuchung von Abfall- und Bodenproben können die Informationen, welche durch die Analyse von Wasserproben gewonnen werden können, für die Erkundung einer altlastenverdächtigen Fläche von großer Bedeutung sein.

Auch hier ist die Probennahme von entscheidender Bedeutung für die Aussagekraft der Analyseergebnisse. Es ist unbedingt notwendig, daß die Proben durch geschultes Personal, wenn nicht durch den Analytiker selbst, genommen werden.

2.6.2.1 Grundwasser

Ziele von **Grundwasseruntersuchungen** können sein:

- Ermittlung der Grundwasserbeschaffenheit und möglicher Veränderungen,
- Feststellung der Ausdehnung von Schadstoff-Fahnen,
- Ermittlung von Hinweisen auf die Art der Schadstoffe in der Altlast,
- Ermittlung von Ausgangsdaten zur Beurteilung des Schadstofftransports.

Wenn im Bereich einer Altlast Grundwasser faßbar ist, stellt dessen chemische Beschaffenheit ein wichtiges Kriterium für die Beurteilung dieser Altlast dar.

Für die Probennahme ist zu beachten, daß die zu untersuchenden Grundwasseraufschlüsse möglichst nahe am Gefahrenherd liegen und mit ihm in hydraulischem Zusammenhang stehen. Mit wachsender Entfernung vom Ort der Infiltration sind Schadstoffe aufgrund von Abbau, Sorption und Verdünnung immer schwieriger nachzuweisen bzw. können in ihrer Konzentration unter die analytische Erfassungsgrenze absinken. Die Zahl der Meßstellen richtet sich nach der Größe des Gefahrenherdes und nach den hydrogeologischen Zusammenhängen, etwa der Grundwasserfließrichtung und der Verbindung von Probennahmestelle und Gefahrenherd. Zur Beurteilung der Analysenergebnisse sind Vergleichsmessungen im unbelasteten Grundwasser erforderlich.

Falls die Probennahme nicht vom untersuchenden Labor selbst durchgeführt wird, muß mit diesem Labor zumindest abgeklärt werden, welche Anzahl an Flaschen und welches Probenvolumen benötigt wird, wie eine eventuelle Stabilisierung durchzuführen ist und welche Vorichtsmaßnahmen beim Transport beachtet werden müssen. Es ist unbedingt ein Probennahmeprotokoll zu führen. Für die Untersuchungen an einem Gefahrenherd sollte möglichst nur ein Labor eingeschaltet werden, um einheitliche und in sich vergleichbare Untersuchungsergebnisse zu sichern.

Liegen konkrete Hinweise vor, daß nur bestimmte, relativ genau definierte Stoffe in der Altlast enthalten sind, soll die chemische Analyse gezielt auf diese Stoffe ansetzen. Liegen keine Hinweise auf die Art der Stoffe vor, so ist aufgrund von Hinweisen auf die frühere Nutzung des Geländes, früher ansässiger Firmen, Produktionspaletten usw., eine Auswahl bestimmter Meßparameter zu treffen. Die Auswahl der Parameter sollte unter Zuziehung eines auf dem Gebiet der Zusammensetzung von Abfallstoffen und schadstoffbelasteten Bodenmaterialien und der chemischen Analytik erfahrenen Fachmanns erfolgen. Um ein landeseinheitliches Vorgehen zu gewährleisten, sollte hier im Bedarfsfall die LfU hinzugezogen werden. In folgender Liste sind Beispiele für typische Analysenparameter bei definierten Gefahrenherden aufgeführt, wie sie bei Fällen in der Praxis angewandt wurden. Auf den im Meßprogramm zur Untersuchung von Grund- und Rohwasser grundsätzlich vorgeschlagenen Parameterumfang wird hingewiesen. Auch auf die weiteren Formulare in Anlage 3 wird verwiesen.

Beispiele für typische Analysenparameter bei definierten Gefahrenherden

- **ehemaliges Gaswerksgelände:**
Gesamtcyanid, Ammonium, Phenole, BTX -Aromaten (Benzol, Toluol, Xylol), Teerkohlenwasserstoffe, PAK (polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe) u.a.
- **Galvaniken, metallverarbeitende Betriebe, deren Ablagerungen:**
HKW (leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe), Schwermetalle, Chromat, Gesamtcyanid, Kohlenwasserstoffe, AOX (adsorbierbares organisch gebundenes Halogen) u.a.
- **Mineralölverwendung und -verarbeitung:**
Kohlenwasserstoffe, Lösemittel halogenhaltig und halogenfrei, DOC (gelöster organischer Kohlenstoff), PCB (Polychlorierte Biphenyle), AOX u.a.
- **Lackhersteller, lack- und farbverarbeitende Betriebe u ä.:**
Kohlenwasserstoffe, Lösemittel halogenhaltig und halogenfrei, AOX, Schwermetalle, Chromat, DOC, u.a.
- **Teerverwendung und -verarbeitung:**
BTX -Aromaten, Teerkohlenwasserstoffe, PAK, Phenole, Gesamtcyanid.

- **Chemische Reinigungen** u.ä.:

CFKW (leichtflüchtige Chlor- und Fluorkohlenwasserstoffe), Kohlenwasserstoffe, AOX, DOC.

Im Rahmen des Grundwasserbeschaffenheitskonzepts wurden vom Beirat „Erfassung und Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit“ die nachfolgend aufgeführten Grundsatzpapiere erarbeitet und in der Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes eingeführt:

- Notwendigkeit und Kriterien für die Emittenten- und Vorfeldmeßstellen
- Anordnung von Emittenten- und Vorfeldmeßstellen
- Meßprogramme zur Untersuchung von Grund- und Rohwasser
- Meßverfahrensliste zur Untersuchung von Grund- und Rohwasser
- Einheitliches Probennahmeprotokoll für die Untersuchung von Grund-, Roh- und Trinkwasser
- Einheitliche Analyseprotokolle für die Untersuchung von Grund-, Roh- und Trinkwasser
- Qualifikationsanforderungen an Chemische Untersuchungslabors für Grund-, Roh- und Trinkwasser
- Numerierung und Kennzeichnung der Meß- und Probennahmestellen des Grundwasserbeschaffenheitsmeßnetzes
- Anleitung zur Probennahme von Grund-, Roh- und Trinkwasser
- Bau und Ausbau von Grundwasserbeschaffenheitsmeßstellen

Wenn ein Gefahrenherd nicht ausreichend stofflich definiert werden kann und wenn von einem weiten Spektrum an Schadstoffen ausgegangen werden muß - wie es bei der kombinierten Ablagerung von Haus- und Industriemüll oft der Fall ist - dann empfiehlt sich ein stufenweises allgemeines Analysen-Programm. Ein solches wurde im Bericht „Grundwassergefährdungen durch Altablagerungen am Beispiel Eppelheim“, herausgegeben vom Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg, Stuttgart, als Heft Nr.17 der Reihe „Wasserwirtschaft“ dargestellt und dokumentiert. Dabei sollen in der ersten Stufe die Parameter bestimmt werden, deren Messung einen geringen analysetechnischen Aufwand erfordert und die Aussagen über folgende Fragen erlauben:

- ob überhaupt eine Belastung erkennbar ist,
- auf welche Art von Stoffen im Gefahrenherd ggf. geschlossen werden kann,
- ob weitere, detaillierte, gezielte und i.d.R. auch teure Untersuchungen notwendig sind, aus denen weitere Erkenntnisse erwartet werden können.

Die entsprechenden Parameter sind in Tabelle 2 aufgeführt:

Tab. 2: Parameterumfang der Stufe 1

- Farbe, qualitativ
- Trübung, qualitativ
- Geruch, qualitativ
- Farbe, Ext. bei 436 nm
- Temperatur bei Probennahme
- elektrische Leitfähigkeit bezogen auf 25°C
- pH-Wert bei ... °C
- Säurekapazität bis pH 4,3 bei ...°C
- Gesamthärte (kann auch gerechnet werden)
- Calcium
- Magnesium
- Natrium
- Kalium
- Ammonium
- Eisen
- Mangan
- Chlorid
- Nitrat
- Sulfat
- Bor
- Sauerstoff
- DOC (gelöster organischer Kohlenstoff)
- UV-Extinktion bei 254 nm
- AOX (adsorbierbares organisch gebundenes Halogen) inklusive POX
- HKW

Da viele dieser Parameter nur in Verbindung mit einander ihre Aussagekraft erhalten, sollte das Untersuchungsprogramm der Stufe 1 grundsätzlich vollständig durchgeführt werden. Im Bereich der Altablagerungen kann es sinnvoll sein, schon in der 1. Stufe den Parameter Sulfid mit zu bestimmen.

Wenn sich aus den so gewonnenen Ergebnissen keine Anzeichen für eine Veränderung der natürlichen Grundwasserqualität erkennen lassen, kann auf weitere Untersuchungen normalerweise verzichtet werden. Dabei nimmt man allerdings in Kauf, daß besondere Schadstoffe oder Schadstoffgruppen - die jedoch erfahrungsgemäß in der Praxis nur selten vorkommen - auf diese Weise nicht erfaßt werden. In Kombination mit einer sorgfältig durchgeführten Erfassung (s. Teil I) ist diese Gefahr jedoch gering.

Lassen sich aus den Ergebnissen der Stufe 1 Anhaltspunkte für eine Veränderung der natürlichen Grundwasserbeschaffenheit erkennen, dann muß der Untersuchungsumfang auf die Parameter der Stufe 2 ausgedehnt werden. Diese Untersuchungen müssen i.d.R. mit neuen Was-

serproben durchgeführt werden, wobei die Parameter der Stufe 1 erneut zu untersuchen sind. Wenn man von einer Verunreinigung auszugehen hat, empfiehlt sich die Kombination der Stufen 1 und 2. Die Stufe 2 umfaßt eine Bestimmung der folgenden Parameter:

- Schwermetalle (Blei, Cadmium, Kupfer, Nickel, Zink, Chrom)
- Kohlenwasserstoffe
- Benzol, Toluol, Xylol, halogenfreie Lösemittel (GCFID) oder (GCMS)
- Gesamtcyanid.

Die Analysenergebnisse müssen in jedem Fall durch erfahrene Fachleute ausgewertet und beurteilt werden. Wenn sich ergibt, daß weitere Untersuchungen notwendig werden, dann sind die entsprechenden Parameter individuell auszuwählen (3. Stufe des Untersuchungsprogramms). Beispiele sind:

- Phenole
- PAK (polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe)
- Pestizide
- weitere Schwermetalle, z.B. Arsen, Quecksilber, Vanadium
- PCB (polychlorierte Biphenyle)
- organisch - chemische Spurenstoffe

Alle Analysen sollten nach DIN bzw. DEV-Methoden oder mit gleichwertigen Verfahren durchgeführt werden.

Für eine laufende Überwachung kann ein wesentlich eingeschränkter Analysenumfang ausreichen, um eine Beobachtung von Veränderungen zu sichern (vgl. Abschn. 4.1).

Die schweren, nicht radioaktiven Isotope des Wassermoleküls, Deuterium und schwerer Sauerstoff, können infolge von Anreicherungsverfahren in Müllkörpern zu Indikatoren für Kontaminationen werden. In Kombination mit hydrogeologischen Untersuchungen können sie der Erforschung der Schadstoff-Wanderung im Untergrund dienen (vgl. Abschn. 2.3). Das radioaktive Wasserstoffisotop Tritium kann aus Altlasten, die radioaktive Abfälle, z.B. Krankenhausabfälle, enthalten, ins Grundwasser gelangen und kann sich somit als Indikator für solche Kontaminationen eignen.

2.6.2.2 Sickerwasser

Sickerwasseruntersuchungen haben folgende Ziele:

- Ermittlung von Hinweisen auf die Art der Schadstoffe im Gefahrenherd und auf mögliche Verursacher,
- Ermittlung von Ausgangsdaten zur Beurteilung des Eintrags von Schadstoffen (vgl. Teil I) und der Schadstoffabwanderung.

Sickerwasser ist als Transportmedium für die Schadstoffe zum Grundwasser oder Oberflächenwasser von Bedeutung. Oft läßt sich zwischen Sickerwasser, Grundwasser und Oberflächenwasser nicht genau unterscheiden. Ein eindeutiges Kennzeichen für Sickerwasser ist aber, daß es direkt mit den Schadstoffen in Berührung gekommen ist und deshalb i.d.R. sehr viel

höhere Konzentrationen an organischen und anorganischen Schadstoffen aufweist als ein kontaminiertes Grund - bzw. Oberflächenwasser.

Häufig lassen sich Sickerwasseranalysen mit Eluatanalysen von Abfallproben in Beziehung setzen. Die in Abschn. 2.6.1 „Analystechnik“ genannten Gesichtspunkte gelten daher auch hier.

Im Vergleich zu Grundwasserproben können sich zusätzliche Schwierigkeiten bei der Probenahme ergeben, z.B. durch:

- Inhomogenität der Probe, so daß sie nicht repräsentativ ist,
- Trübung durch Niederschläge,
- Veränderungen infolge von Sauerstoffzutritt,
- Erhöhte Temperatur des Sickerwassers
- Austreten von Gas und flüchtigen Stoffen,
- Vor-Ort-Messungen,
- schwierigere Stabilisierung,
- Arbeitsschutz, Hygiene,
- Geruchsbelästigung,
- häufig geringes Dargebot.

Entsprechende Vermerke müssen ins Probennahmeprotokoll eingetragen werden. Auch hier ist die Probennahme, wenn möglich, vom untersuchenden Labor durchzuführen.

Der Untersuchungsumfang orientiert sich an dem bei der Analyse von Grundwasserproben. Die Aussagekraft einzelner Parameter kann jedoch erheblich differieren.

Da Sickerwasser i.d.R. viel höhere Schadstoffkonzentrationen aufweist, kann es sinnvoll sein, auch auf Stoffe zu untersuchen, die im Grundwasser wegen der starken Verdünnung nicht mehr nachzuweisen sind.

Die Auswertung und Interpretation der Analysenergebnisse muß durch erfahrene Fachleute und in Zusammenarbeit mit der zentralen Fachbehörde vorgenommen werden.

2.6.2.3 Oberflächenwasser

Untersuchungen von **Oberflächenwasser** können folgende Ziele haben:

- Ermittlung der Beschaffenheit des Oberflächenwassers und von möglichen Veränderungen,
- Feststellung der Ausdehnung des Schadstoffeintrags,
- Ermittlung von Hinweisen auf die Art der Schadstoffe im Gefahrenherd.

Wenn ein Oberflächengewässer von einem Gefahrenherd bedroht wird, müssen Untersuchungsumfang und -parameter individuell und fachspezifisch festgelegt werden. Veränderungen der Beschaffenheit sind - besonders bei stehenden Gewässern - oft schon am Aussehen, am Geruch und am biologischen Besatz erkennbar. Darüber hinaus können die bereits weiter vorn beschriebenen chemischen Untersuchungsmethoden herangezogen werden.

Sedimentuntersuchungen in Oberflächengewässern können wichtige Hinweise für einen bereits zurückliegenden Eintrag von Schadstoffen liefern. Schadstoffe werden häufig im Sediment angereichert und lassen sich dort gegebenenfalls leichter nachweisen.

Sedimentproben werden nach den gleichen Verfahren untersucht wie Bodenproben (vgl. 2.5.1).

2.6.3 Deponiegas, Bodenluft und atmosphärische Luft

Unter bestimmten Voraussetzungen kann es bei kontaminierten Standorten zu **Gasbildungen** kommen. Dies kann zu einem Austritt von **Deponiegas** in die Atmosphäre, in Gebäude, Schächte, unterirdische Leitungen, Drainagen, in den durchwurzelt Bodenbereich und andere, gasleitende Schichten führen. Auch flüchtige Stoffe, die unter den Deponiebedingungen in flüssiger oder fester Form oder in wässriger Lösung vorliegen, können sich ähnlich verhalten. Ein Beispiel hierfür sind die leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoff.

Man unterscheidet bei der Untersuchung gasförmiger Komponenten die folgenden drei Kategorien:

- Deponiegas,
- Bodenluft/Bodengas,
- atmosphärische Luft.

Dies darf aber nicht als eine scharfe Abgrenzung betrachtet werden, sondern geht eher auf Herkunft und meßtechnische Gesichtspunkte zurück, weil die Schadstoffkonzentrationen in den drei Kategorien sehr unterschiedlich sind.

Chemisch-analytische Untersuchungen werden hierbei vom Einzelfall bestimmt.

2.6.3.1 Deponiegas

Als **Deponiegas** werden hier Proben bezeichnet, die aus dem Bereich einer gasproduzierenden Deponie oder Altlast stammen und dieses Gas in relativ konzentrierter Form enthalten.

Typisches Deponiegas aus Hausmülldeponien besteht aus den Hauptkomponenten Methan und Kohlendioxid, weitere Bestandteile sind in der Regel nur in geringen Konzentrationen oder im Spurenbereich vorhanden. Hinsichtlich der Probleme und Gefahren, die von den beiden o.g. Hauptkomponenten ausgehen, wird auf die Fachliteratur verwiesen.

Schwerpunktmäßig sollen hier diejenigen anderen Bestandteile des Deponiegases behandelt werden, die sich aus der Art besonderer abgelagerter Stoffe oder besonderer Ablagerungstechniken ergeben. Es kann sich dabei sowohl um in den abgelagerten Stoffen ursprünglich enthaltene Bestandteile als auch um neu entstandene Komponenten handeln. Die Hauptbestandteile des Deponiegases Methan (CH₄) und Kohlendioxid (CO₂) übernehmen die Funktion des Transportmediums für diese anderen Stoffe. Als Beispiel sind zu nennen:

H ₂ S	bei gemeinsamer Ablagerung von Hausmüll und Gips
H ₂ , NH ₃ ,	aus der Zersetzung von metallhaltigen Krätzen/Schlacken
PH ₃ , H ₂ S	Ofenausbruch mit Wasser

C ₂ H ₂	aus Carbidschlammern
CKW, FKW, CFKW	aus abgelagerten Stoffen (TRI, PER, Frigene) oder durch Umwandlung neu entstanden (cis-1.2-Dichlorethen, Vinylchlorid)
Lösemittel, Kohlenwasserstoffe	z.B. aus Lackabfällen, Reinigungsmitteln, benzin- oder ölhaltigen Abfällen
Buttersäure u.a. niedrig-molekulare org. Säuren	aus der Ablagerung von Lebensmitteln und anderen organischen Stoffen, sehr geruchsintensiv

In allen Fällen, in denen hinsichtlich der Zusammensetzung mit Werten zu rechnen ist, die vom üblichen Deponiegas abweichen, sollten hinsichtlich Probennahme, Auswahl und Festlegung der Untersuchungsparameter und Bewertung der Untersuchungsergebnisse erfahrene Fachleute hinzugezogen werden.

2.6.3.2 Bodenluft

Unter Bodenluftproben werden hier alle gasförmigen Proben bezeichnet, die aus dem Porenvolumen des Untergrundes unterhalb ca. 1 m Geländeoberkante und oberhalb des Grundwasserspiegels entnommen werden und, im Gegensatz zum Deponiegas, nicht aus dem unmittelbaren Bereich der gasproduzierenden Deponie oder Altlast stammen. Hauptbestandteile derartiger Proben sind in der Regel die Permanentgase der Atmosphäre Stickstoff und Sauerstoff; in reduktiven Bereichen kann Sauerstoff fehlen. Daneben können auch weitere Bestandteile, wie andere Gase und/oder leichtflüchtige Stoffe (z.B. Trichlorethen), die Aufschluß über eine Kontamination des Untergrundes oder des Grundwassers liefern können, in der Bodenluft enthalten sein.

Grundsätzlich sind Bodenluftmessungen orientierende Voruntersuchungen und sollen Entscheidungshilfen für weitergehende Untersuchungsmaßnahmen erbringen. Die Methode ermöglicht das Auffinden und Abgrenzen eines Kontaminationsherdes im Boden sowie das Erkennen und Abgrenzen z.B. einer CKW-Belastung des Grundwassers.

Die Auswertung und Interpretation von Bodenluftmessungen erfordert viel Erfahrung, insbesondere dann, wenn aus den Meßergebnissen Rückschlüsse auf die Gesamtmenge der vorhandenen Schadstoffe im Untergrund gezogen werden sollen. Bei der Beurteilung der Meßwerte muß folgendes berücksichtigt werden:

- Grundbelastung des Bodens oder des Grundwassers, z.B. durch Eintrag aus der Atmosphäre
- Aufbau und Inhomogenität des Untergrundes
- möglicherweise auftretende diffuse Abgabe eines Schadstoffs über undichte Abwasserkanäle
- Witterung und Jahreszeit bei der Probennahme
- Abbauvorgänge im Boden bzw. Grundwasser.

Die Anwendbarkeit der Methode wird durch die von der Flüchtigkeit abhängigen Konzentration der jeweils zu untersuchenden Stoffe und die Nachweisempfindlichkeit des Analyseverfahrens begrenzt. Generell gilt: Je weniger flüchtig ein zu untersuchender Stoff ist, um so weniger geeignet ist das Bodenluftverfahren.

1. Bei den leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffen wurde die Bodenluftmethode in den vergangenen Jahren mit großem Erfolg eingeführt. Bei diesen Stoffen kommen die günstigen Eigenschaften der hohen Flüchtigkeit, der relativ hohen Stabilität im Untergrund und der sehr guten Nachweisempfindlichkeit mittels GC/ECD zusammen.
2. Aromatische Kohlenwasserstoffe, Benzine, Lösemittel mittlerer bis hoher Flüchtigkeit: weniger empfindliches Analyseverfahren GC/FID.
Bodenluftmessungen wurden trotz der geringeren Empfindlichkeit im Vergleich zu CKW bereits mit Erfolg eingesetzt.
3. Polychlorierte Biphenyle (PCB) und Hexachlorcyclohexan (HCH):

sehr hohe analytische Nachweisempfindlichkeit, aber zu geringe Flüchtigkeit. Bodenluftmessungen sind für derartige wenig flüchtige Stoffe in der Regel nicht geeignet.

2.6.3.3 Atmosphärische Luft

Bei Deponien, Altlasten oder kontaminierten Standorten kann die Möglichkeit des Übertrittes vom Deponiegas oder Bodenluft in die Atmosphäre gegeben sein.

Normalerweise treten nur relativ geringe Mengen aus und es erfolgt sehr rasch eine starke Vermischung und Verdünnung mit der Außenluft. Die Konzentrationen sinken dann in der Regel sehr rasch unter die analysentechnischen Nachweismöglichkeiten ab. Bei Windstille oder austauscharmen Wetterlagen können Bedingungen gegeben sein, die die Bildung höherer Konzentrationen in der Luft ermöglichen.

Ein besonderes Problem stellen stark geruchsintensive Stoffe, wie z.B. Mercaptane, Schwefelwasserstoff, Phosphin, Phosphorschwefelverbindungen u.ä., dar. Sie können häufig noch geruchlich wahrgenommen werden, entziehen sich aber dennoch meist einem analytischen Nachweis und einer Quantifizierung, d.h. die Nase ist oft empfindlicher als die zur Verfügung stehende Analystechnik.

Für Außenluftmessungen sollte immer ein Fachmann herangezogen werden, der abklärt, ob Messungen überhaupt möglich und sinnvoll sind und der ggf. ein geeignetes Meßprogramm aufstellt.

Als Orientierung zur Bewertung von Luftmessungen können die TA-Luft und die MAK - und MIK - Werte herangezogen werden.

2.7 Biologische Untersuchungen

Tiere und Pflanzen reagieren auf Veränderungen in ihrer Umwelt und damit auch auf Belastungen, die von abgelagerten Schadstoffen ausgehen. Soweit solche Reaktionen regelmäßig auftreten, gut erkennbar und meßbar sind und einer bestimmten stofflichen Belastung zugeordnet werden können, ist es sinnvoll, die entsprechenden Organismen als Bioindikatoren einer Schadstoffbelastung heranzuziehen.

Aus der Untersuchung von **Bioindikatoren**, dem sogenannten „**Biomonitoring**“, ergeben sich Informationen auf zwei Ebenen, welche die physikalisch-chemischen Daten aussagekräftig ergänzen:

Signalwirkung:

Die Reaktionen von Bioindikatoren weisen auf Belastungen hin und erlauben damit die Aufstellung eines gezielten Untersuchungsprogrammes. Es können auf diese Weise auch Wirkungen von Stoffen erfaßt werden, die nicht in routinemäßigen chemischen Analysen erkannt werden können und deshalb der Aufmerksamkeit entgehen würden.

Gefährdungsprognose:

Bioindikatoren integrieren und kumulieren Wirkungen aller Belastungsfaktoren, während aus physikalisch-chemischen Daten und den bekannten toxikologischen Informationen über die jeweiligen Einzelparameter keine sichere Prognose über Wechselwirkungen mehrerer Schadstoffe erstellt werden kann. Auch synergistische Effekte lassen sich auf diese Weise erkennen.

Durch Biomonitoring kann u.U. auf Belastungsstöße geschlossen werden, die in der Vergangenheit stattgefunden haben.

Wenn Bioindikatoren signalisieren, daß die Belastungsverhältnisse erheblich vom Normalzustand abweichen, dann ist eine Ursachenanalyse notwendig. Sie kommt ohne differenzierte physikalisch-chemische Untersuchungen nicht aus. Hier sind biologische Verfahren bislang kaum anwendbar.

Bei geringen Abweichungen von der biologischen Norm kann normalerweise auf den Einsatz von teuren technischen Verfahren verzichtet werden. Das Biomonitoring wird damit zu einer verhältnismäßig preisgünstigen Langzeitbeobachtungsmethode für Belastungsfälle, die nicht akut sind.

Diese „Biologische Norm“ ist allerdings wegen der vielfältigen Wechselbeziehungen der biologisch wirksamen Parameter schwieriger festzulegen als dies bei physikalisch-chemischen Untersuchungsparametern der Fall ist. Meistens muß man sich an realen Vergleichssystemen orientieren, so daß die Beurteilung von Bioindikationsdaten zumeist in einem Ortsvergleich (Zustandsvergleich Untersuchungsort - unbelasteter Vergleichsort) oder einem Zeitvergleich (vor dem Eingriff - nach dem Eingriff) besteht.

Je nach Fragestellung und Belastungsweg bzw. zu untersuchendem Medium muß der Einsatz von Bioindikationsverfahren angepaßt werden. Wenn nur ein allgemeines Warnsignal erwartet wird, muß ein anderes Indikationssystem verwendet werden als wenn z.B. eine Gefährdungsprognose für das ökologische Gleichgewicht bzw. für die menschliche Gesundheit vorgenommen werden soll.

Drei verschiedene Bioindikationsverfahren sind dabei von Interesse:

1. Biotest:

Standardisiert angezüchtete und gehaltene Organismen werden unter sehr genau reproduzierbaren Laborbedingungen den Proben ausgesetzt, die aus dem Untersuchungsgebiet stammen (Wasser-, Boden - oder Luftproben, ggf. Auch Pflanzenproben). Man erhält eine gut reproduzierbare und quantifizierbare biologische Reaktion.

2. Aktives Monitoring:

Standardisiert angezüchtete Organismen werden unter einheitlichen Expositionsbedingungen in das Untersuchungsgebiet gebracht und dort eine definierte Zeitlang den Belastungen des Standortes ausgesetzt. Die Reaktion ist weniger gut reproduzierbar, spiegelt aber den Einfluß wichtiger weiterer Variablen wieder - etwa den von Klimaparametern.

3. Passives Monitoring:

Organismen, die am fraglichen Standort vorkommen, werden untersucht, ggf. Proben entnommen und im Labor analysiert. Die Reaktionen variieren stark in Abhängigkeit von der Individualentwicklung der Organismen und dem Standortmosaik, decken aber andererseits den Einfluß aller zusammenwirkenden Standortfaktoren ab.

Die Bioindikatoren können unterschiedlich auf die Belastung reagieren. Folgende, für die Bioindikation verwertbare Reaktionstypen lassen sich unterscheiden:

1. Physiologisch-biochemische Reaktion

Z.B. Enzymreaktionen von Biotest - Organismen (zumeist Bakterien)

2 Physiologisch anatomische Reaktionen

Z.B. Nekrosebildungen an Blättern oder Eierschalenanomalien bei Vögeln; Veränderung des Durchschnittsgewichts bzw. der Durchschnittsgröße

3. Stoffakkumulation

Z.B. Anreicherung von Schwermetallen in bestimmten Organen, Anreicherung von lipophilen Stoffen im Fettgewebe

4. Populationsdynamische Reaktion

Z.B. Veränderungen in der Altersklassenverteilung einer Art, Veränderungen des durchschnittlichen Höchstlebensalters

5. Biozönotische Reaktion

Z.B. Veränderungen in der Artenzusammensetzung einer Organismengruppe, Verminderung der Artenvielfalt (Diversität) oder Abwanderung einzelner Arten.

In Tabelle 2 sind einige Beispiele für einsetzbare Bioindikationsverfahren mit den wichtigsten Kenngrößen aufgeführt.

Die angeführten Beispiele stellen nur einen unvollständigen Überblick der praxiserprobten Verfahren dar. Es gibt noch eine ganze Reihe weiterer Verfahren sowohl für die Bioindikation von Luftschadstoffen durch Pflanzen als auch Biotests für Wasserproben. Es besteht aber noch ein erheblicher Forschungsbedarf für die Bioindikation von Grundwasser- und Bodenbelastung. Für die Bewertung von Stoffablagerungen im Boden können solche Verfahren von größter Bedeutung sein. Probleme ergeben sich aus der Tatsache, daß es nicht genügend Spezialisten für die Artbestimmungen gibt. Ohne sie ist aber eine aussagekräftige Interpretation biologischer Daten nicht möglich.

Angemerkt sei an dieser Stelle, daß die Effekte von sehr langsam wirkenden toxischen Verbindungen - wie z.B. krebserregende Stoffe, die für die menschliche Gesundheit von großer Bedeutung sind - sich mit biologischen Methoden kaum erfassen lassen. Allenfalls können Organismen als Akkumulatoren für bekannte Karzinogene dienen. Die Gefährdungsprognose kann hier nur aufgrund von chemischen Analysedaten und humantoxikologischen Zusammenhängen erstellt werden.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Bioindikation sich eignet als:

- Screeningmethode für einen schnellen Überblick über die Probleme und
- Hilfsmittel bei der Aufstellung einer Gefährdungsprognose, um Fehlinterpretationen der chemischen Untersuchungsergebnisse zu vermeiden.

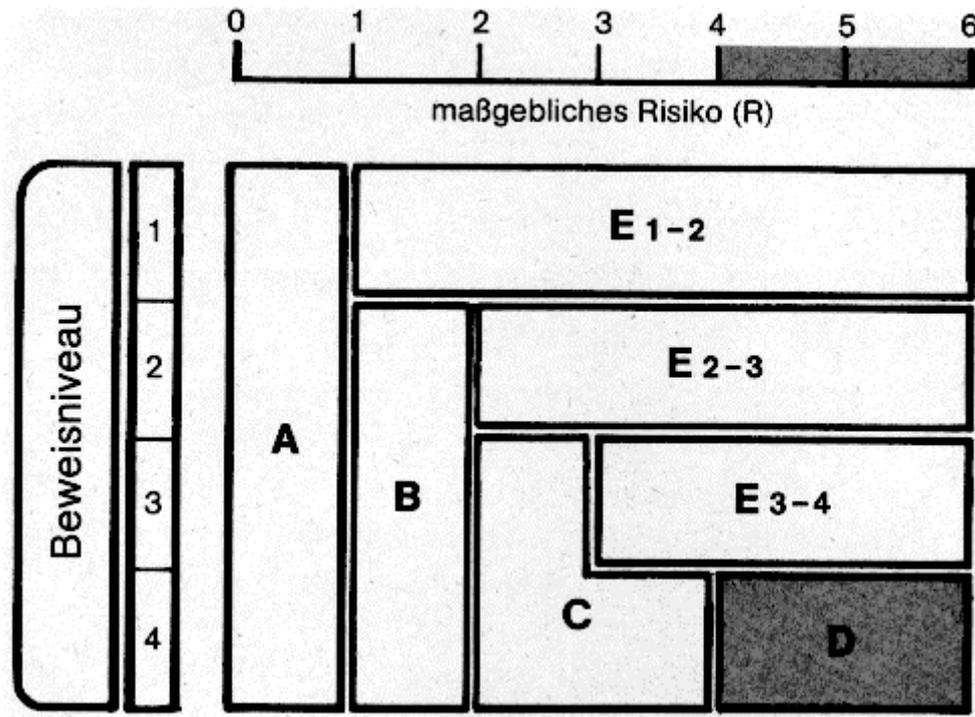
Die Bioindikation ist somit grundsätzlich bei allen Erkundungsstufen anwendbar. Bei der Erkundungsstufe E₁₋₂ - orientierende bzw. indikative Erkundung - ist in der Regel die aufmerksame Beobachtung von Flora und Fauna durch die Fachbehörde ausreichend. Bei weiteren Beobachtungsstufen sollten die im einzelnen anzuwendenden Methoden mit einem Fachmann abgestimmt werden.¹

¹ Literatur: Arndt, v., W. Nobel und H.v. Bunau: Wirkungskataster für Luftverunreinigungen in Baden-Württemberg, Agrar- und Umweltforschung in Baden-Württemberg, Band 1, Verlag Ulmer, Stuttgart 1982.

Tab. 3 Bioindikationsverfahren zur Beurteilung stofflicher Belastungen

Bioindikator	Medium / Belastungstyp	Einsatztyp	Reaktionstyp	Fragestellung / Aussageziel
Leuchtbakterien	Wasser	Biotest (Enzymaktivität)	biochemisch/ physiologisch	allgemeine Toxizität auf biochemisch-physiologischem Niveau
Wachteln	Wasser (Pflanzen)	Biotest (generatives Verhalten)	physiologisch/ anatomisch (Eischalendicke etc.)	allgemeine Toxizität auf hochintegrierendem physiologisch-anatomischem Niveau
Fi-sche/Amphibien bzw. Laich	Wasser	passives Monitoring	Stoffakkumulation (v.a. Schwermetalle)	Belastung der Nahrungsketten
Flechten	Luft	aktives und passives Monitoring	physiologisch/ anatomisch (Nekrosen, Verfärbungen)	unspezifische Signalfunktion (v.a. gegenüber SO ₂ , HCl, Stäuben)
Standardisierte Graskulturen	Luft	aktives Monitoring	Stoffakkumulation (Schwermetalle, Fluor, Schwefel)	Belastung der Nahrungsketten
Grünkohl	Luft	aktives Monitoring	Stoffakkumulation (Polyzyklische Aromaten)	Bioakkumulation krebserregender Stoffe
Regenwürmer	Boden	passives Monitoring	Stoffakkumulation (Schwermetalle, organische Verbindungen)	Belastung der Nahrungsketten
Asseln	Boden	passives Monitoring	Stoffakkumulation (Schwermetalle)	Belastung der Nahrungsketten
Käferfauna	Boden	passives Monitoring	biozönotisch (Veränderung der Artenzusammensetzung/ Diversität)	Screening für allgemeine Ökosystemstörung

3. Durchprüfen von Möglichkeiten zur Gefahrenminderung (D)



Wenn die Gefahrenabschätzung gemäß Teil I Altlastenhandbuch ein maßgebliches Risiko über 4 ergibt oder sonstige Gefahren entsprechend hoch eingeschätzt werden, ist es notwendig, Möglichkeiten zur Gefahrenminderung zu prüfen und Maßnahmen durchzuführen, die die Gefährlichkeit der Altlast verringern. Unter Gefahrenminderung seien im folgenden eine oder mehrere Maßnahmen verstanden, die einen risikomindernden Einfluß auf Austrag aus der Altlast, Eintrag sowie auf Wirkung und Transport des Schadstoffes im Schutzgut und bei dessen Nutzung ausüben.

Das Durchprüfen von Möglichkeiten zur Gefahrenminderung kann auch angebracht sein, wenn:

- Nutzungsänderungen eingetreten oder geplant sind, wenn z.B. das Schutzgebiet einer Trinkwassergewinnungsanlage neu festgelegt oder ein Bebauungsplan geändert wird bzw. eine Bebauung beabsichtigt ist,
- die Gefahr von Korrosionen oder Setzungen an Bauwerken besteht,
- der Grundwasserspiegel gesenkt oder gehoben wird,
- toxische Stoffe freigelegt werden, z.B. im Zuge von Baumaßnahmen,
- die Kontrolle des Gefahrenherdes auf die Dauer teurer kommt als eine Sanierung,
- die Standsicherheit einer Altlast unzureichend ist.

Für die Verfahrensauswahl im konkreten Einzelfall ist ein stufenweises, ggf. Iteratives Vorgehen notwendig, das sich im Prinzip so beschreiben läßt:

1. vorläufige Definition des Sanierungszieles (Abschn. 3.1)
2. Auswahl geeigneter Verfahren (Abschn. 3.2)
3. Ermittlung der Wirksamkeit von Verfahren und Vorauswahl (Abschn. 3.3)
4. Ermittlung der Kosten der Verfahren (Abschn. 3.4)
5. Durchführung einer Kostenwirksamkeitsbetrachtung und Ausarbeitung von alternativen Sanierungsvorschlägen (Abschn. 3.5)
6. genaue Definition des Sanierungsziels und Auswahl eines Verfahrens, mit dem die Sanierungsziele möglichst wirtschaftlich zu erreichen sind (wenn kein geeignetes Verfahren vorgeschlagen wurde, ist neu zu beginnen) (Abschn. 3.6)
7. Erstellung eines Sanierungsplanes (Abschn. 3.7)

Die Beteiligten bei diesem Vorgehen sind bei:

- **Planung**
Ingenieurbüros, Sachverständige, Fachbehörden
- **Durchführung**
Ausführungsfirmen, Ingenieurbüros, chemisch-physikalische Untersuchungslabors
- **Zulassung und Verfügungen; Festlegungen des Sanierungszieles**
Örtlich und fachlich zuständige Behörden (Verwaltungs- und Fachbehörden)
- **Überwachung**
Örtlich und fachlich zuständige Behörden, ggf. Unter Hinzuziehen von Ingenieurbüros, chemisch-physikalischen Untersuchungslabors und als
- **Sanierungsträger**
Industrie- und Gewerbebetrieb, Gemeinden, Landkreise, Gründungsstückseigentümer als „Handlungs“- oder „Zustandsstörer“ aufgrund eigener Initiative oder aufgrund von behördlichen Anordnungen.

Es können - abhängig von den jeweiligen Gegebenheiten - vor allem folgende Stellen zuständig sein:

- Wasserbehörde
- Wasserwirtschaftsamt
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
- Geologisches Landesamt Baden-Württemberg
- Gesundheitsamt
- Gewerbeaufsichtsamt
- Landwirtschaftsamt
- Kreisbeauftragter bzw. Bezirksstelle für Naturschutz und Landschaftspflege.

Die Einschaltung von Gutachtern und Sachverständigen kann angezeigt sein.

Darüber hinaus sollten auch die Belange der Betroffenen - etwa von Wasserwerken, Fischereiberechtigten, Landwirten und Anwohnern - bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden.

In Fällen, in denen die Gemeinde nicht Sanierungsträger ist, sollte sie beteiligt werden.

Im übrigen sollen verwaltungsrechtliche Aspekte nicht näher abgehandelt werden, da sie sehr stark von den Gegebenheiten des Einzelfalles abhängen.

Im folgenden soll dagegen eine Vorgehensweise vorgestellt werden, wie durch enge Zusammenarbeit von Sanierungspflichtigen mit den Behörden - ggf. unter Einschaltung von Ingenieurbüros - eine optimale, auf den Einzelfall bezogene Lösung für ein Sanierungsvorhaben gefunden werden kann. Dieses Vorgehen hat sich bereits bei der Behandlung einer Vielzahl von Grundwasserschadensfällen mit leichtflüchtigen chlorierten Kohlenwasserstoffen bewährt.

Wenn Maßnahmen zur sofortigen Gefahrenabwehr notwendig sind, ist häufig ein abweichendes Vorgehen angebracht, da die erforderlichen Maßnahmen schnell getroffen werden müssen.

3.1 Sanierungsziele

Die Zielsetzungen für Sicherungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen - die **Sanierungsziele** - können sehr unterschiedlich ausgerichtet sein:

- „totale“ Sanierung, Wiederherstellung der universellen Verwendbarkeit der Schutzgüter
- Abwehr akuter Gefährdungen, z.B. durch Aufbereitungsanlagen bei der Trinkwassergewinnung
- Verringerung der Schadstoffbelastung auf ein vorgegebenes Maß
- Ablösung von Kontrollen
- Zeitgewinn, bis ein geeignetes Sanierungs- oder Sicherungsverfahren entwickelt oder verfügbar ist
- Ermöglichung einer bestimmten Nutzung des Standorts.

Aus den Sanierungszielen sind Teilziele zu entwickeln, die möglichst genau beschrieben werden müssen, etwa durch Festlegung von:

- Restkonzentrationen im Schutzgut
- zulässiger Restschadstoffaustrag bzw. -eintrag
- maximalen Entnahmemengen
- maximalen Einleitungsmengen
- Durchlässigkeit, Schichtstärke u.a. m.
- Fristen, Termine

Grenzwerte und Richtlinien für bestimmte Nutzungen - z.B. Trinkwasserverordnung, Klärschlammverordnung - sind zu beachten.

Im Rahmen des hier beschriebenen stufenweisen Verfahrens ist - entgegen dem üblichen Vorgehen - zunächst eine grobe, erste Festlegung der Sanierungsziele ausreichend. Es sollte dabei ein Rahmen abgesteckt werden, der aber eng genug ist, um eine erste Vorauswahl von geeigneten Verfahren zu ermöglichen. Die genaue Festlegung des Sanierungszieles erfolgt erst in einer späteren Phase.

3.2 Sicherungs- und Sanierungstechniken

Die Gefahr, die von einem schadstoffbelasteten Standort ausgeht, kann durch geeignete **Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen** beseitigt oder zumindest verringert werden. Für diesen Zweck stehen heute bereits eine Vielzahl von Verfahren zur Verfügung. Weitere Möglichkeiten werden derzeit erforscht und erprobt.

Maßnahmen zur Gefahrenminderung lassen sich aufgliedern in:

- **Sanierungsmaßnahmen**, d.h. Beseitigung oder Verringerung der Schadstoffmenge am Gefahrenherd und im kontaminierten Umfeld
- **Sicherungsmaßnahmen**, d.h. Verhinderung oder Verringerung, ggf. vorübergehend, des Schadstoffaustrages und damit auch des Eintrags in das Schutzgut, z.B. Einkapselung, verbunden mit einer intensiven Kontrolle ohne direkte Einflußnahme auf die Schadstoffquelle.

In den Übersichtstabellen „Maßnahmen zur Gefahrenminderung“ in Anlage 2 wird - entsprechend dem heutigen Kenntnisstand - ein Überblick gegeben, der es erlaubt, ihre Grundprinzipien zu verstehen und ihren Anwendungsbereich abzuschätzen. Darüber hinaus soll auch gezeigt werden, welche Nebeneffekte und Folgeprobleme die einzelnen Verfahren mit sich bringen können und was zu beachten ist, wenn man sich für eines dieser Verfahren entschließt. An dieser Stelle wird nicht im einzelnen auf die verschiedenen Techniken eingegangen. Dies ist Gegenstand eines weiteren Teils des Altlastenhandbuchs.

Viele Techniken wirken sich auf mehrere Schutzgüter aus. Die Wirkungen der einzelnen Verfahren sind sehr standortspezifisch, so daß in den Tabellen hierauf nicht eingegangen werden kann. Sie gliedern sich folgendermaßen auf:

Tabelle 0: Techniken zur Verringerung der **Stoffgefährlichkeit** am Standort

Tabelle I: Techniken zur Verringerung des **Schadstoffaustrages**

Tabelle II: Techniken zur Verringerung des **Schadstoffeintrages**

Tabelle III: Techniken zur Verringerung der **Schadstoffwirkung** und des **Transportes**

Tabelle IV: Techniken zur Verringerung der Gefahren im **Bereich von Nutzungen**.

3.3 Verfahrensvorauswahl

Technische Maßnahmen zur Gefahrenminderung sind in ihren Wirkungen sehr vielfältig und komplex. Die Wirksamkeit einer Maßnahme läßt sich als Differenz zwischen dem Risiko vor und nach der Durchführung zahlenmäßig ausdrücken, wenn die Risikoermittlung entsprechend dem Verfahren erfolgt, das in Teil I des Altlasten-Handbuchs beschrieben ist.

In einer Vorplanungsphase sind zunächst verschiedene Maßnahmen bzw. Kombinationen von Maßnahmen zusammenzustellen und auf ihre Wirksamkeit zu prüfen bzw. das verbleibende

Risiko zu ermitteln. Zur Ermittlung, Darstellung und zum Vergleich der Wirksamkeit von Alternativen ist der Bewertungsbogen auch geeignet, wie das Bild 1 zeigt.

Bereits durch eine Ermittlung der mit den verschiedenen Techniken zu erwartenden Risikoabschläge läßt sich eine erste Vorauswahl treffen.

Des weiteren ist zu prüfen, ob einzelne Maßnahmen oder Techniken ausgeschlossen werden müssen, aufgrund anderer, in die Risikoermittlung nicht eingegangener Gesichtspunkte. Beispiele sind:

- Entwicklungsstand, Wirkungsweise und Sicherheit der Verfahren (Überwachbarkeit, Betriebssicherheit, Empfindlichkeit gegen äußere Einflüsse, Arbeitsschutz, Personenschutz, Unfallgefahr)
- Beschränkungen durch Gegebenheiten am Standort, z.B. vorhandene Bebauung, räumlich beengte Verhältnisse, Beschränkungen in der Zugänglichkeit
- Verfügbarkeit von Behandlungs- und Beseitigungsanlagen für den Abfall bzw. für das schadstoffbelastete Bodenmaterial
- Ableitungsmöglichkeiten für eventuell anfallendes Abwasser
- Emissionen, die im Zuge der Maßnahme entstehen können, z.B. Lärm, Staub, Geruch, Erschütterungen, Belastungen für Vorfluter
- Akzeptanz durch die Bevölkerung, Anlieger, Nutzungsberechtigte
- Vorgaben für die zukünftige Nutzung des Standortes
- Zeitdauer bis zum Beginn der Maßnahme
- Grundwasserverluste, Änderung des Grundwasserspiegels
- Verlagerung der Schadstoffbelastung auf andere Schutzgüter

Weiter ist bei der Verfahrensauswahl zu bedenken, daß verschiedene Sanierungsmaßnahmen erst nach einer bestimmten Zeitspanne ihre volle Wirkung erreichen. Beispiele hierfür sind die hydraulische Grundwassersanierung durch Abpumpen oder mikrobiologische Verfahren. Die Wirksamkeit von Maßnahmen kann auch im Laufe der Zeit abnehmen, etwa wenn die Dichtwirkung von Kunststoffolien unter chemischen Einflüssen sinkt; siehe auch nachfolgende schematische Darstellung (Bild 2). Neueren Untersuchungen zufolge sollen auch mineralische Dichtungen bestimmten chemischen Einflüssen nicht unbegrenzt standhalten.

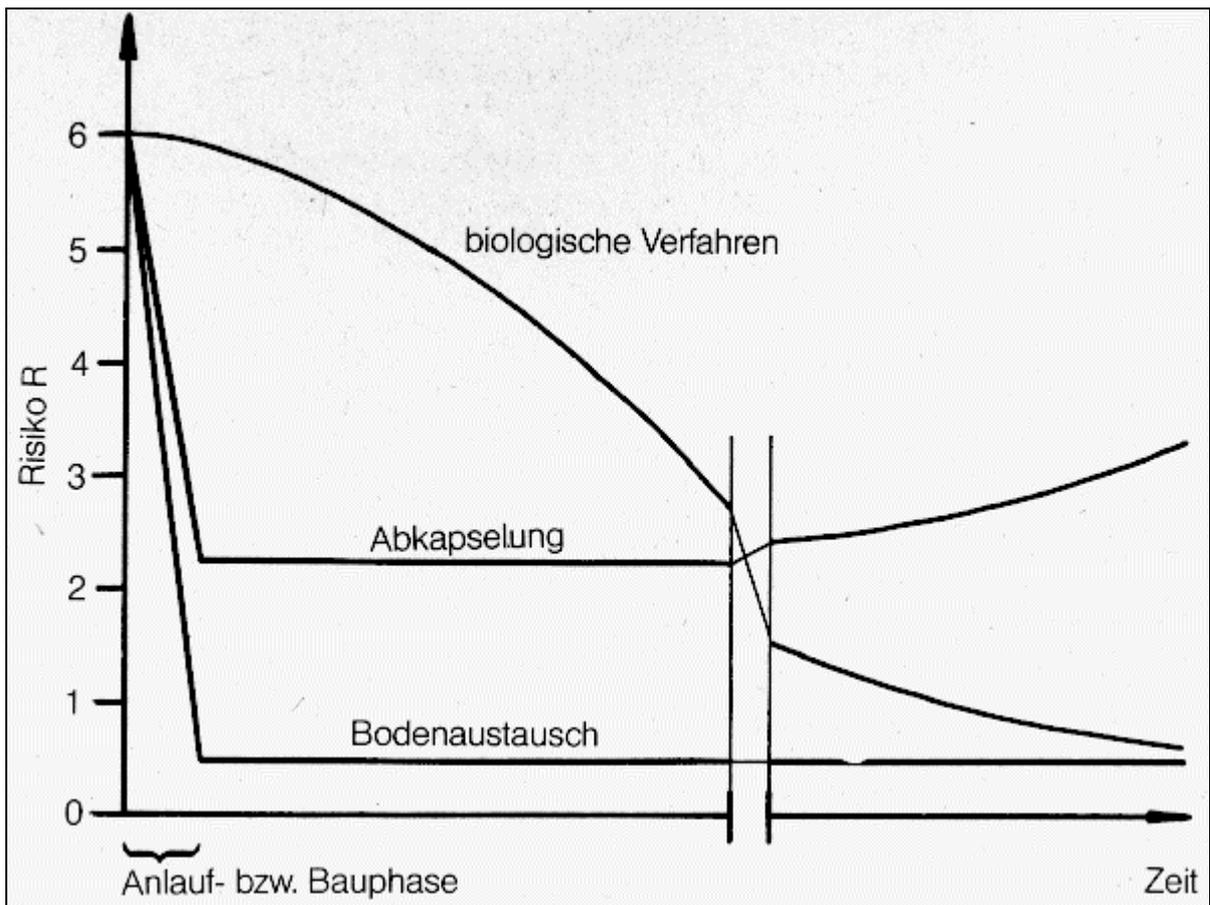


Bild 2 : Schematische Darstellung der zeitlichen Veränderung der Wirksamkeit von Sanierungstechniken

3.4 Kosten

Für die nach der Vorauswahl verbliebenen Alternativen sind nun in einem nächsten Schritt die **Kosten** als Grundlage für den Sanierungsvorschlag (siehe Abschn. 3.6) zu ermitteln.

Dabei sind zu berücksichtigen:

- Investitionskosten
- Grundstückskosten
- Abschreibung, Kapitaldienst
- Betriebskosten
- Vorhaltekosten für Geräte
- Gebühren
- Untersuchungs- und Analysekosten
- Entschädigungen
- Pachtgebühren
- Honorare für Ingenieurbüros, Sachverständige u.a.
- Kosten für behördliche Überwachung und Eigenkontrolle, insbesondere Langzeitkontrolle (Nachsorge)

Einige der genannten Kosten können u.U. über sehr lange Zeit anfallen. Großen Einfluß auf die Kostenermittlung und den -vergleich hat die Fälligkeit von Zahlungen. Eine einmalige Zahlung zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist höher zu bewerten als eine Zahlung mit gleichem nominellen Wert, die aber später fällig wird. Daher sind zu unterschiedlichen Zeiträumen fällige Zahlungen unter Berücksichtigung finanzmathematischer Gesichtspunkte auf einen einheitlichen Zeitpunkt zu beziehen, u.a. durch die sogenannten Barwertmethoden. Bei ihnen werden die zeitlich unterschiedlich verteilten Einnahmen und Ausgaben durch Diskontierung mit einem Kalkulationszinssatz auf die Gegenwart bezogen.

Damit können beispielsweise Analysenkosten, die zu regelmäßigen Terminen über einen längeren Zeitraum anfallen, durch ihren Barwert ersetzt werden. Häufig ist es nicht möglich, die für diese Berechnung erforderliche voraussichtliche Dauer der Zahlungen sicher zu prognostizieren. Wenn lange Zeiträume betrachtet werden, wirken sich jedoch Unsicherheiten bei der Festlegung der Laufzeit nur noch gering auf den Barwert aus, d.h. es wirkt sich auf den Barwert nur wenig aus, ob die Zahlung insgesamt über 50 oder über 60 Jahre erfolgt.

Am Beispiel jährlich wiederkehrender Kosten für die Untersuchung des Grundwassers soll dies erläutert werden. Angenommen wird ein jährlich wiederkehrender Kostenumfang in Höhe von 1000,- DM. Gerechnet wird mit einem Zinssatz als Differenz zwischen nominalem Zinssatz und Inflationsrate von 3%. Dann beträgt der Barwert am Beginn der Zahlung für eine Zeitreihe von 50 Jahren gerundet 25700,- DM, für eine Zeitreihe von 60 Jahren gerundet 27700,- DM, also demgegenüber nur 2000,- DM mehr. 33000,- DM wäre der Barwert bei unendlich langer Untersuchungszeit.

Beispiel: Ermittlung der Wirksamkeit einer Maßnahme als Differenz zwischen dem Risiko vor und nach der Durchführung - Die Darstellungform des abgebildeten Bewertungsbogens ist überholt (vgl. Teil I, Kap. 2.2.2 und Bild 2)!

G	Industriestandort Cyanid Gefahrenverdacht, Standort Stoffgruppe Lagerst./Gasreinigungsmasse Wasserfassung <small>nähere Standortbeschreibung Schutzobjekt</small>	Bewertungsbogen	Raum für: statistische Daten, Prüfungsverm
	1. Bewertung 2. Bewertung <small>Alternative A: Bod</small>		
Bearbeiter Datum		Bearbeiter	
0. Stoffgefährlichkeit	verbrauchte Gasreinigungsmasse, teilweise vermischt mit Erde (komplex gebundenes Cyanid) / Verunreinigungsbereich eingegrenzt durch chem.-phys. Untersuchungen des Untergrunds (Bohrungen und Schürfungen)		Entnahme der Gasreinigungsmasse un Bereiche des Untergrunds (Zuordnung: nie) Es verbleiben schwach kontaminierte t
$r_0 = 4,5$			
I. Austrag	1. Abschirmung gegen Zutritt von Niederschlagswasser; Kopfsteinpflasterdecke, geordnete Ableitung von Niederschlagsw. 2. keine sonstigen Wasserzutritte 3. keine Sohlabdichtung, Lagerung direkt auf kiesig-sandigem Untergrund örtliche Erhebung, Aktenstudium $m_I = 1,1 \quad \Delta r_I = +0,5 \quad r_I = 5,0$		- ohne Änderung - (Schadstoffbelastung des Bodens w daher $m_I = 1,0$) $m_I = 1,0 \quad \Delta r_I = \pm 0$
II. Eintrag	Grundwasserflurabstand 7 - 8 m Untergrund durchgängig aus kiesig-sandigem Material $k_f = 10^{-4} - 10^{-5}$ ohne dichtende Zwischenschichten Auswertung von Bohrprofilen $m_{II} = 1,1 \quad \Delta r_{II} = +0,5 \quad r_{II} = 5,5$		- ohne Änderung - $m_{II} = 1,1 \quad \Delta r_{II} = +0,2$
III. Transport/Wirkung	Grundwasserfließgeschwindigkeit 1 bis 2 m/d Aquifermächtigkeit ca. 10 m Bohrungen, Messung hydraul. Kennwerte, hydraul. Berechnung $m_{III} = 1,0 \quad \Delta r_{III} = \pm 0 \quad r_{III} = 5,5$		- ohne Änderung - $m_{III} = 1,0 \quad \Delta r_{III} = \pm 0$
IV. Bedeutung	Trinkwasserqualität außerhalb des Einzugsbereichs von Wassergewinnungsanl. Eigenwasserversorgungsanlagen nicht vorhanden kleine Schadstoffmenge, mittleres Grundwasserangebot örtliche Erhebung, Aktenstudium $m_{IV} = 0,9 \quad \Delta r_{IV} = -0,6 \quad r_{IV} = 4,9$		- ohne Änderung - $m_{IV} = 0,9 \quad \Delta r_{IV} = -0,2$
maßgebli. Risiko	Altlast, Sanierung durch öffentliche Hand, Handlungsstörer existiert nicht mehr $R = 4,9$		- ohne Änderung - $R =$
Beweis-niveau	Gefahrenherd und Schadstoffausbreitung umfassend untersucht Handlungsbedarf $BN = 4$ D 4,9		- entfällt - $BN = 4$
Maßnahmen	Folgende Möglichkeiten zur Gefahrenminderung werden durchgeprüft: U: Abgraben des schadstoffbel. Materials und ordnungsgemäße Beseitigung, z. B. Einlagerung in einer geeigneten Deponie, thermische Behandlung V: Abkapselung des Kontaminationsbereichs durch umfassende Schlitz- od. Schmalwand, Abdichtung des Sohlbereichs durch Untergrundverpressung, Abdichtung der Oberfläche (Asphaltdecke)		Auflagen: ● besondere Vorsicht bei Baumaßnat Veränderungen im Nahbereich ● anfallender Erdaushub ist wie Baus

interne Angaben	Regionalschlüssel _____ PLZ _____ Gemeinde _____ Kennziffer _____ Bezeichnung _____
3. Bewertung Alternative B: Abschirmung	
Datum _____ Bearbeiter _____	
Grundreinigung / ermülldepo- - ohne Änderung - 1,5 $r_0 = 4,5$	
und immobil. Abkapselung durch Schlitzwand, Untergrundverpressung im Sohlbereich und Abdichtung der Oberfläche (Gußasphalt) 1,5 $m_I = 0,7$ $\Delta r_I = -2,2$ $r_I = 2,3$	
- ohne Änderung - 1,7 $m_{II} = 1,1$ $\Delta r_{II} = +0,2$ $r_{II} = 2,5$	
- ohne Änderung - 1,7 $m_{III} = 1,0$ $\Delta r_{III} = \pm 0$ $r_{III} = 2,5$	
- ohne Änderung - 1,5 $m_{IV} = 0,9$ $\Delta r_{IV} = \pm 0$ $r_{IV} = 2,5$	
- ohne Änderung - $R = 2,5$	
Handlungsbedarf B 1,5 Handlungsbedarf C 2,5 $BN = 4$	
sonstige Auflagen: ● Erhalt der Dichtung ● regelmäßige Überprüfung der Dichtwirkung beseitigen	

Bewertungsprofil

Dabei muß auch berücksichtigt werden, daß sich durch Veränderung bzw. Einführung von Grenzwerten, Einführung neuer Schutzbestimmungen, der Untersuchungsumfang in der weiteren Zukunft erhöhen könnte und dadurch die ursprünglich angenommenen Kosten nicht mehr ausreichen.

Auf eine Prognose der Kostensteigerung kann verzichtet werden, da üblicherweise davon ausgegangen werden kann, daß die Kosten gleichmäßig ansteigen, ihre Relationen zueinander also erhalten bleiben.

An dieser Stelle sei auf die einschlägige Literatur hingewiesen. Besonders erwähnt werden sollen die beiden von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) ausgearbeiteten Leitlinien zur Durchführung von

- Kosten-Nutzen-Analysen in der Wasserwirtschaft (1979) und
- Kostenvergleichsrechnungen (1986).

3.5 Kostenwirksamkeitsbetrachtung

Die Auswahl von Gefahrenminderungsmaßnahmen erfordert eine besonders ausgewogene Entscheidung.

Sanierungsziele sind häufig nicht von vornherein mit der wünschenswerten Genauigkeit festzulegen. Die hierfür notwendigen Kenntnisse sind schrittweise zu erarbeiten.

Bei den oftmals sehr hohen Kosten von Sanierungsmaßnahmen und der Vielzahl an Altlasten kann nicht in jedem Fall die „totale“ Sanierung gefordert werden. Die Entscheidung über das zu wählende Verfahren muß daher angemessen sein und die verschiedenen Randbedingungen berücksichtigen.

Bei der Prüfung der „Angemessenheit einer Maßnahme“ erlangt das Verhältnis von Kosten (vgl. Abschn. 3.4) und Nutzen oder Wirksamkeit bei einer Altlast eine besondere Bedeutung.

Die Betrachtung von Kosten und Wirksamkeit einer Maßnahme geschieht nun am zweckmäßigsten in einem Diagramm, in dem auf der Ordinate das Risiko und auf der Abszisse die Kosten aufgetragen werden.

Trägt man nun die verschiedenen, an einer Altlast in Frage kommenden alternativen Maßnahmen in das Diagramm als Punkte ein, so läßt sich auf übersichtliche Weise das unterschiedliche Kostenwirksamkeitsverhältnis der einzelnen Maßnahmen erkennen. So läßt sich auf diese Weise z.B. in Bild 3 leicht erkennen, ob bei einer Altlast erst bei einem großen Kostenaufwand deutliche Wirkungen zu erzielen sind (Altlast X) oder umgekehrt (Altlast Y).

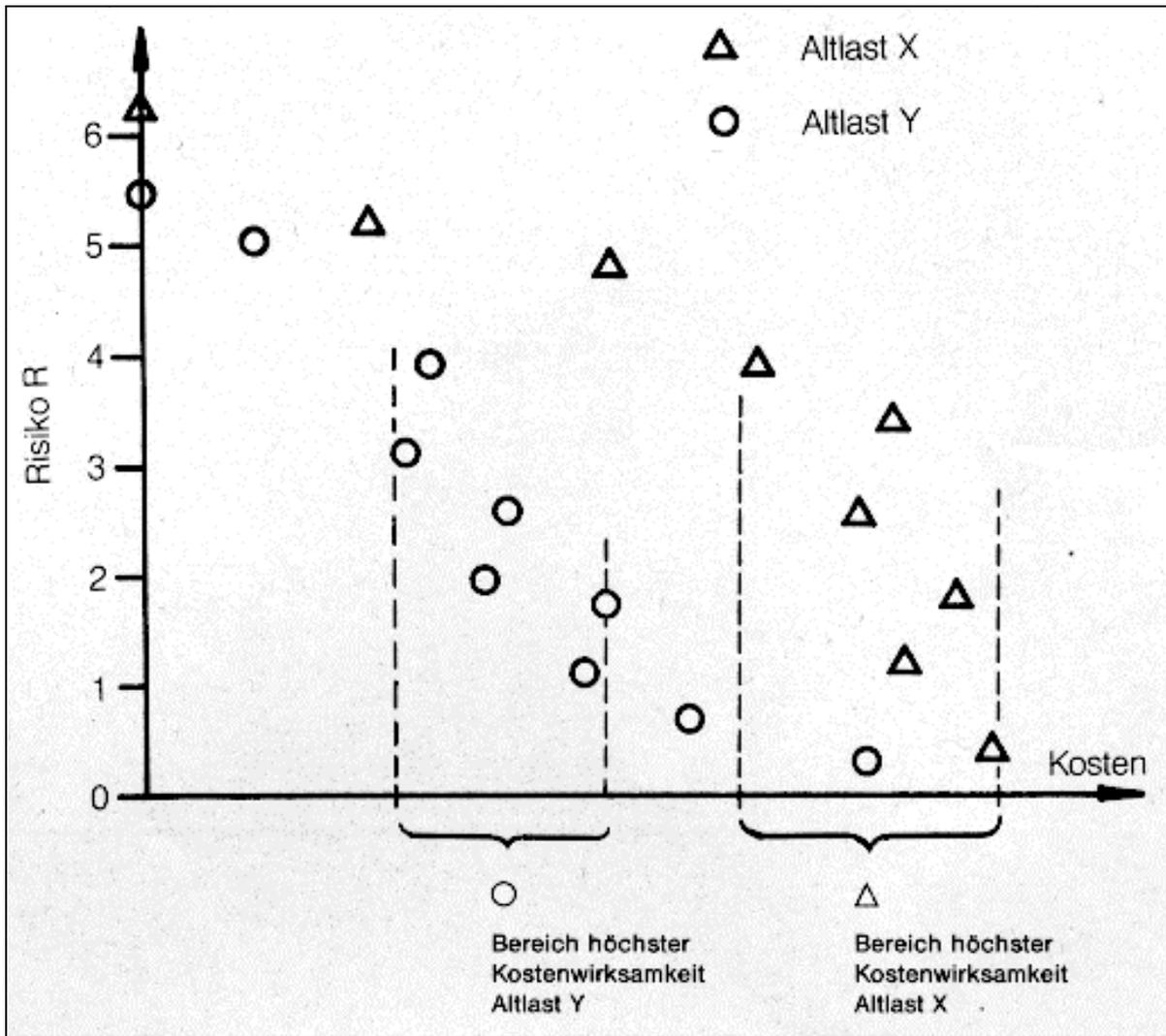
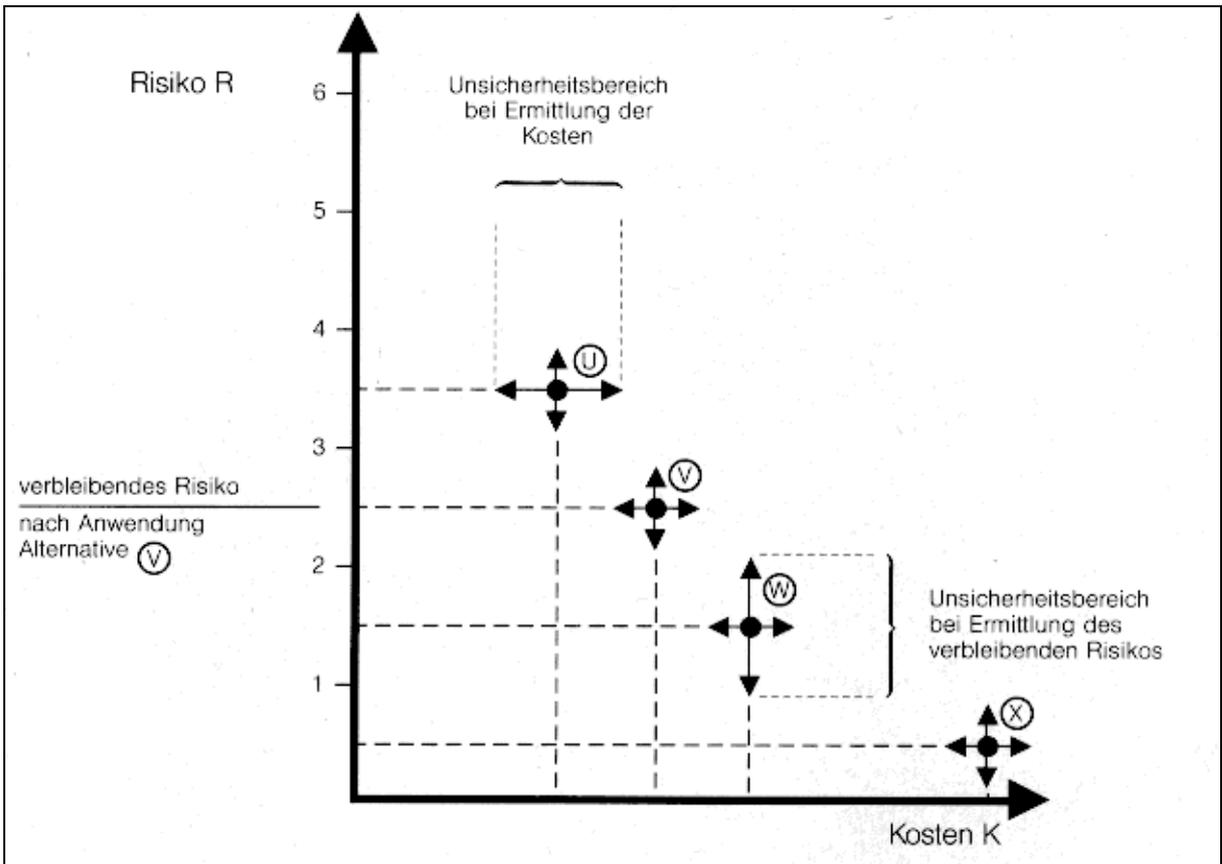


Bild 3: Kostenwirksamkeit von Maßnahmen

Erkennbar wird dabei auch, in welchem Maße durch einen erhöhten Kosteneinsatz sich die Wirksamkeit bei einer Altlast noch erhöhen („Kostenbereich höchster Effizienz“) läßt. Der Bereich, in dem sich mit dem geringsten Kostenmehraufwand die höchste Wirksamkeitssteigerung erreichen läßt, wird durch den Kurvenbereich mit der stärksten fallenden Tendenz der Punktfolgen repräsentiert.

Bei der Betrachtung von Kosten und Wirksamkeit ist zu berücksichtigen, daß die Wirkungen und die Kosten bei verschiedenen Alternativen häufig nur ungenau vorausgesagt werden können. Darüber hinaus sind gegebenenfalls sonstige Wirkungen zu berücksichtigen, die sich einer Bewertung in der genannten Weise entziehen. Zur Begründung eines Sanierungsvorschlages sollte daher möglichst die für das Beispiel in Bild 4 gewählte Form der Darstellung benutzt werden.

a) Kostenwirksamkeitsbetrachtung



b) Betrachtung der sonstigen Wirkungen:

Alternative	Ⓚ	Ⓥ	Ⓦ	Ⓧ
Entwicklungsstand	neu	erprobt	.....	nicht ausgereift
anlagetechnische Verfügbarkeit	.....	verfügbar	lange Lieferzeit	.....
Verträglichkeit mit vorh. Nutzungen	Grundwas- sernutzung beeinträchtigt	.....	.....	.....
Zeitverhalten: a) bis Einsetzen Wirkung b) Dauer der Wirkung	3 Jahre unbegrenzt	..... 20...30 Jahre	5 Jahre unbegrenzt	sofort unbegrenzt
Belästigungen durch a) Staub b) Lärm c) Geruch d) Erschütterungen	.....	.....	.....	groß laut gering stark
Auswirkungen auf andere Schutzgüter	.....	.....	.....	.....

Bild 4a und b: Beispiele einer Kostenwirksamkeitsbetrachtung bei einer Altlast. Alternative Maßnahmen U, V, W, X

3.6 Sanierungsvorschlag

Mit Abschluß der Kostenwirksamkeitsbetrachtung liegen die wesentlichen Entscheidungsgrundlagen vor. Erst jetzt sollten nach umfassender Würdigung aller maßgebenden Gesichtspunkte des Einzelfalles und unter besonderer Beachtung des Grundsatzes der Verhältnismäßigkeit Sanierungsziele abschließend festgelegt werden. Eine möglichst weitgehende Risikominderung bei allen Schutzgütern ist anzustreben.

Ziel des Entscheidungsprozesses ist es, anhand der vom Sanierungsträger bzw. einem von diesem beauftragten Sanierungsbüros erarbeiteten Vorschläge den optimalen Sanierungsvorschlag auszuwählen. Es soll also nicht unter allen Umständen das Verfahren ausgewählt werden, das die weitestgehende Sanierung erlaubt, sondern das fachlich Notwendige soll unter möglichst wirtschaftlichen Bedingungen mit dem ausgewählten Verfahren verwirklicht werden. Im Verlaufe dieses Prozesses kann es sich ergeben, daß Zielvorgaben und Randbedingungen geändert werden müssen. Deshalb empfiehlt es sich, die Entscheidung als einen iterativen Prozeß anzufassen. Es ist auch zu prüfen, ob Aussicht auf Erteilung der behördlichen Zulassungen (Genehmigungen, Erlaubnisse, Planfeststellungen) besteht.

3.7 Sanierungsplan

Aus dem Sanierungsvorschlag ist als nächster Schritt ein **Sanierungsplan** zu erarbeiten. Dieser stellt eine Detailausarbeitung der vorliegenden Unterlagen dar und bildet die Grundlage für die Durchführung der Sanierungsmaßnahme. Im Rahmen des Sanierungsplanes müssen auch die Annahmen und Prognose, welche der Entscheidung zugrunde liegen, so weit geprüft und abgesichert werden, daß eine sachgerechte Durchführung des Vorhabens möglich ist und Risiken bei der Ausführung weitgehend ausgeschlossen sind.

Ein **Sanierungsplan** muß enthalten:

- Beschreibung
- Berechnungen
- Erläuterungen
- Lagepläne
- Zulassungsanträge
- Termin- bzw. Zeitplan
- Ausführungs- und Detailpläne
- Vorschläge für begleitende Kontrollen
- Vorschläge für die Abnahme - bzw. Erfolgskontrolle
- Vorschläge für die Nachsorge (Langzeitüberwachung)
- Angaben über mögliche nachteilige Auswirkungen auf die Umgebung und geeignete Abhilfemöglichkeiten
- Vorschläge für das Beweissicherungsverfahren und Dokumentation.

Zulassungsanträge

Im **Sanierungsplan** müssen die erforderlichen **Zulassungsanträge** enthalten sein. Folgende Rechtsgebiete sind zu beachten:

- Wasserrecht
- Abfallrecht
- Immissionsschutzrecht (Lärm, Geruch, Staub, MIK-Werte)
- Bergrecht
- Arbeitsschutz (Unfallverhütung, MAK-Werte)
- Naturschutzrecht
- Baurecht (Abgrabungen, Gebäudeabbruch, Nutzungsänderung, Standsicherheit, Korrosion)
- Denkmalschutzrecht

Ferner sind Anträge bzw. Verträge für die Nutzung von Grundstücken und Anlagen Dritter beizufügen

Anträge auf die Zulassung von schadstoffbelastetem Abfall- und Bodenmaterial aus Ausgrabungsaktionen zur Ablagerung auf Deponien müssen z.B. Angaben erhalten über

- Schadstoffart
- Schadstoffkonzentration
- Aggregatzustand, Wassergehalt, Konsistenz, Art der Anlieferung, (z.B. Größe von Fässern, Mulden)
- Art der eventuell vorkommenden Vorbehandlung
- Gesamtmenge und Schadstofffracht
- Besonderheiten, z.B. mögliche Reaktionen mit anderen Stoffen, mögliche Schwierigkeiten bei der nachfolgenden Behandlung, Staubentwicklung

Weiter müssen die Anlieferungsbedingungen abgeklärt sein, d.h. eine verbindliche Annahmeerklärung des Beseitigers und erforderlichenfalls eine Bestätigung der zuständigen Behörde müssen vorliegen, damit um eine Transport- bzw. Ausfuhrgenehmigung nachgesucht werden kann.

Begleitende Kontrollen

Im **Sanierungsplan** sind die eine Maßnahme begleitende Untersuchungen festzulegen. Dies können sein:

- Entnahme und Untersuchung von Boden- und Wasserproben
- Messung der Ölschichtstärke bei Abwehr- und Sanierungsbrunnen für Mineralölverunreinigungen
- Überwachung der richtigen Probennahme
- Kontrolle der Milieubedingungen für Mikroorganismen
- Kontrolluntersuchungen zur Absicherung der Repräsentativität der Proben
- Vermessen und Kartieren von Probennahmestellen
- Feststellung von Grundwasserständen, Aufnahme von Ganglinien, Höhenlinienpläne
- Aufmaß bei Abgrabung, Wassermengenermittlung bei Pumpmaßnahmen
- Begleitende Überwachung der Umgebungsluft, z.B. auf Einhaltung der MAK-Werte
- Einschaltung von Sachverständigen, z.B. bei Gefahr von Rutschungen, Setzungen
- Überwachung der Begleitscheine, z.B. Überprüfung der Annahmebescheinigung des Beseitigers
- Einhaltung der Unfallverhütungsvorschriften
- Fotodokumentation, mindestens über die wichtigsten Stadien der Maßnahme

Folgende Ziele sind dabei u.a. zu verfolgen:

- verfahrenstechnische Steuerung
- Kontrolle der Auswirkung auf Umwelt und auf Dritte
- Kontrolle der Wirksamkeit des Verfahrens
- Schaffung von Unterlagen für die Abrechnung

Abnahme und Erfolgskontrolle

Aus dem **Sanierungsplan** muß hervorgehen, wie der Nachweis der Wirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen erbracht werden soll. Dabei sind die Punkte hervorzuheben, welche bei der Abnahme nach Abschluß besonders zu berücksichtigen sind.

Nachsorge

Im **Sanierungsplan** ist ebenfalls niederzulegen, welche Anlagen für die Langzeitüberwachung erhalten bzw. neu erstellt werden müssen. Außerdem muß ein Überwachungsprogramm ausgearbeitet sein, aus dem Untersuchungsumfang und -methoden sowie die zeitliche Abfolge hervorgehen.

Beweissicherung

Im **Sanierungsplan** kann festgehalten werden, ob und wie ein Beweissicherungsverfahren durchgeführt werden soll. Dies kann besonders dann zweckmäßig sein, wenn mit Streitigkeiten bei der **Haftung für Folgeschäden** an vorhandenen Anlagen zu rechnen ist. Bei Maßnahmen innerhalb bebauter Gebiete dürfte dies praktisch immer der Fall sein. Schäden an Bauwerken können bekanntlich schon bei der teilweisen Freilegung von Fundamenten im Zuge von Abgrabungen, durch Erschütterungen beim Bohren, Rammen etc., durch Änderungen des Grundwasserspiegels bei Wasserentnahme in lehmig-tonigem oder torfigem Untergrund entstehen.

Daneben sind auch ökologische Aspekte - etwa im Anschluß an Grundwasserabsenkungen - zu bedenken. In diesem Fall ist auch eine quantitative und qualitative Beweissicherung bei bestehenden Grundwassernutzungen zu erwägen.

Zeitplan

Der **Sanierungsplan** muß einen Zeitplan enthalten, in dem - ähnlich wie in einem Bauzeitenplan - die wesentlichen Phasen zeitlich fixiert sind.

Dokumentation

Der **Sanierungsplan** hat auch Verfahren zur Dokumentation der Sanierungsmaßnahmen darzulegen. Damit wird sichergestellt, daß auch noch lange nach Beendigung der Sanierung nachvollzogen werden kann, welche Maßnahmen ergriffen worden sind. Hierfür eignen sich besonders Fotos, Pläne und Beschreibungen.

4. Überwachung

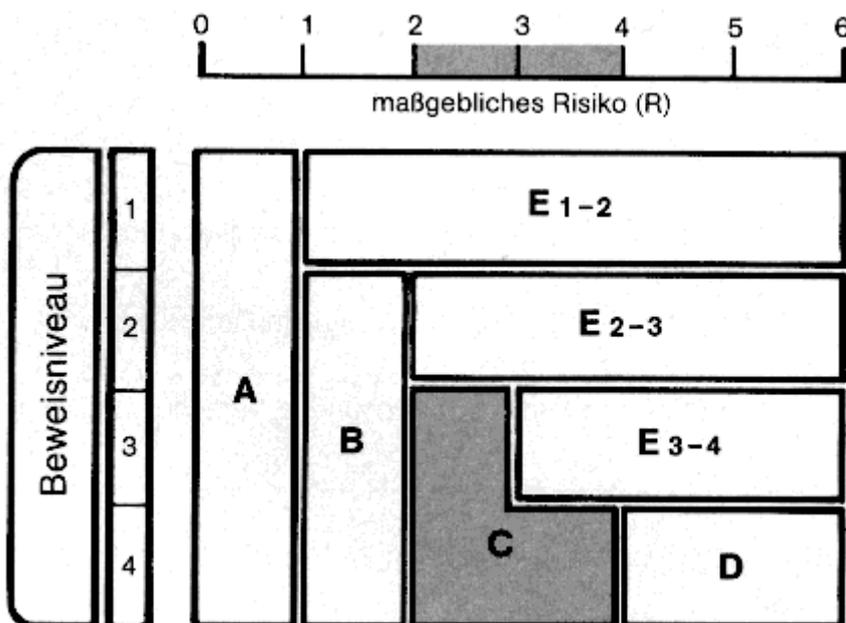
Das Ausscheiden (A) einer Altlast aus der Altlastendatei - nachdem ihre Ungefährlichkeit festgestellt ist - ist die einfachste Form behördlichen Tätigwerdens.

Die nächste Stufe besteht bei einer Altlast darin, daß sie in der Altlastendatei belassen (B) wird, damit im Falle neuer Erkenntnisse und Grundsätze oder bei Veränderungen am Standort eine Gefahrenneubeurteilung schnell erfolgen kann.

Die fachtechnische Kontrolle (C) schließlich ist als Überprüfung der Gefahrenlage in regelmäßigen Zeitabständen zu verstehen. Sie basiert auf Untersuchungen in vorgegebenen Zeitabständen.

In welcher Form bei der Altlast vorzugehen ist, wird von dem ermittelten Risiko (vgl. Teil I, Altlastenhandbuch) bestimmt. Das Risiko wird dabei für die Schutzgüter Grundwasser, Oberflächenwasser, Luft und Boden durch einen Zahlenwert ausgedrückt. Sonstige Gefahren sind gesondert zu berücksichtigen. Wenn nachfolgend auf Risikozahlen Bezug genommen wird, ist dies zu beachten.

4.1 Fachtechnische Kontrolle (C)



Wenn die Gefahrenbeurteilung zu einem maßgeblichen Risiko zwischen 2 und 4 führt, ist zusätzlich zu den in Abschn. 4.2 genannten Maßnahmen die sogenannte „fachtechnische Kontrolle“ notwendig.

Sie enthält eine Neubeurteilung der Gefahren in regelmäßigen Zeitabständen anhand der jeweils neuesten Meßwerte und Beobachtungen und unter Berücksichtigung von neuen Grenzwerten, Erkenntnissen und Erfahrungen.

Je höher das Risiko, desto kürzer müssen diese Zeitabstände gewählt werden. Besonders solche Daten, die sich einfach und zuverlässig ermitteln lassen und mit denen die Gefahrenlage möglichst gut gekennzeichnet wird, müssen hierbei regelmäßig bestimmt werden.

Die fachtechnische Kontrolle eines gefahrverdächtigen Standortes kann nicht nur eine veränderte Bewertung der Gefahr ergeben, sondern auch des Kenntnisstandes, gekennzeichnet durch das Beweinsniveau.

Bei einer so verstandenen Überwachung der entsprechenden Standorte ist gewährleistet, daß Fehlentscheidungen sich bei der Risikoermittlung im Zuge der Standortkontrolle selbst bereinigen („Regelkreis“). Wird dem Standort ein zu hohes Risiko zugewiesen, so führt das Vorgehen (D) spätestens beim Durchprüfen von Möglichkeiten zur Gefahrenminderung zu einer Korrektur. Wird einem Standort ein zu niedriges Risiko zugewiesen, so führen die regelmäßigen Kontrollen, verbunden mit der Neu beurteilung der Gefahren, ebenfalls zu einer entsprechenden Korrektur.

Art, Umfang und Häufigkeit der fachtechnischen Kontrolle sind von der Behörde in engem Kontakt mit dem zuständigen Sachverständigen und ggf. mit der zentralen Fachbehörde festzulegen. Entscheidenden Einfluß haben dabei die bei der Standorterkundung gewonnenen Erfahrungen.

- Beobachtungen der Grund- und Oberflächenwasserqualität hinsichtlich räumlicher und zeitlicher Veränderungen
- Beobachtung von Gas- und Staubemissionen, Vergleich mit Immissionsmessungen
- Beobachtung möglicher Veränderungen durch mikrobielle Tätigkeit, chemische und physikalische Vorgänge in Transportmedien und Schutzgütern
- Beobachtung der Vegetation, des Wachstums, der Entwicklung von Flora und Fauna
- Überprüfen der Wirksamkeit von Sanierungsmaßnahmen, z.B. von Abdichtungen
- Überwachung der Standsicherheit von Böschungen, Veränderung erdstatischer Größen

Einfache Kontrollaufgaben können u.U. auch von der Gemeinde übernommen werden, z.B.:

- in kürzeren Abständen oder nach besonderen Vorkommnissen, wie nach Starkregen, Frost u.ä.,
- bei steilen Böschungen, um die Gefahr von Rutschungen frühzeitig erkennen zu können,
- bei Stützmauern, Verdolungen etc., um einerseits Undichtheiten erkennen und andererseits um Maßnahmen zum Bauwerkschutz möglichst frühzeitig einleiten zu können,
- bei Hausmülldeponien, wenn noch Schäden an der Vegetation durch Gasentwicklung befürchtet werden müssen,
- bei Dränagen, Wassergräben etc. zur Sicherung ihres Zustands und ihrer Funktionsfähigkeit.

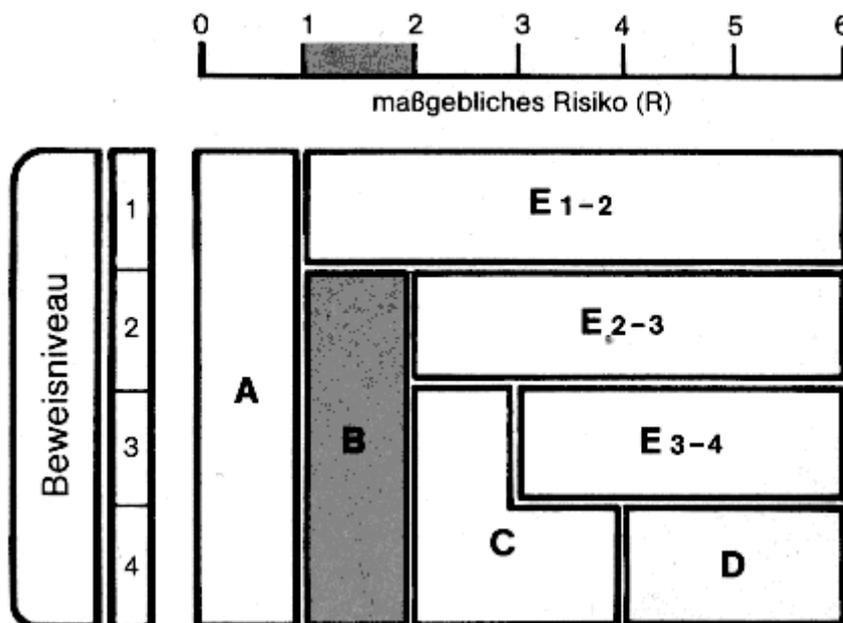
In der Regel führt das Wasserwirtschaftsamt die fachtechnische Kontrolle durch. Es kann sich dabei ggf. Dritter bedienen. Oft sind dabei auch andere Fachbehörden zu beteiligen. Dann ist ausdrücklich die federführende Stelle für die Gesamtkoordination und die Terminüberwachung festzulegen.

Gegebenenfalls können zur Unterstützung der fachtechnischen Kontrolle folgende Verpflichtungen ausgesprochen werden:

- Meldung auffälliger Veränderungen (z.B. Veränderung der Vegetation, Setzungen),
- Duldung von Beobachtungsstellen (Grundwassermeßstellen, Gaswarngeräte u.a.m.),
- Unterhaltung der Beobachtungseinrichtung,
- Durchführung von Überprüfungen bodenmechanischer Untersuchungen von Steilböschungen durch Sachverständige, Materialprüfungen von Verdolungen, Stützmauern, Fundamenten.

Die Ergebnisse der Kontrollen sind einheitlich und übersichtlich zu dokumentieren und auszuwerten. Dies erfolgt - sobald verfügbar - mit dem Programmsystem „wasser - und abfallwirtschaftliche Arbeitsdatei mit Überwachungssystem“, das z.B. auch eine Aufbereitung und grafische Darstellung der Untersuchungsergebnisse, z.B. Zeichnen von Ganglinien, für wichtige Parameter ermöglicht.

4.2 Belassen in der Altlastendatei (B)



Wenn die Risikoermittlungen bei allen vier Schutzgütern eine Zahl zwischen 1 und 2 für das maßgebliche Risiko ergibt, so ist die einfachste Form der Sicherung vorzunehmen: das „Belassen in der Altlastendatei“ (B). Auf diese Weise ist gesichert, daß die bisherigen Informationen nicht verloren gehen und beim Vorliegen von neuen Erkenntnissen, Erfahrungen oder Grundsätzen und bei Veränderungen der Situation am Standort gegebenenfalls eine neue Gefahrenbeurteilung einfach durchgeführt werden kann. Entscheidende Veränderungen am Standort können sein:

- Abbrucharbeiten
- Auf- und Abgrabungen
- Änderungen des Grundwasserspiegels

- Rutschungen
- Setzungen
- Veränderungen im Bewuchs
- Verfall einfacher Sicherungsmaßnahmen, wie Hanggräben Rohrleitungen
- Änderungen in der Geländenutzung.

Der Grundstücksbesitzer ist ggf. zu verpflichten, Veränderungen am Standort der Wasserbehörde mitzuteilen. Es können auch weitere Auflagen notwendig werden, etwa:

- Sicherung des Betretungsrechtes für die überwachende Behörde oder deren Beauftragte
- Nutzungsverbote oder -beschränkungen, z.B. Anbauverbot für bestimmte Nutzpflanzen, Verbot der Weidehaltung, regelmäßige Untersuchung von erzeugten tierischen oder pflanzlichen Produkten, Verbot von Auf- und Abgrabungen, Verbot von Grundwasseraufschlüssen oder -nutzungen.

Die Stilllegung von Betrieben kann erhebliche Veränderungen am Standort bewirken. Es kann sich als notwendig erweisen, umweltrelevante Maßnahmen damit zu verbinden. Abbruchtätigkeiten sind erforderlichenfalls durch die fachtechnische Behörden zu überwachen. Hier können u.U. wichtige Informationen über verwendete und gelagerte Stoffe gesichert werden.

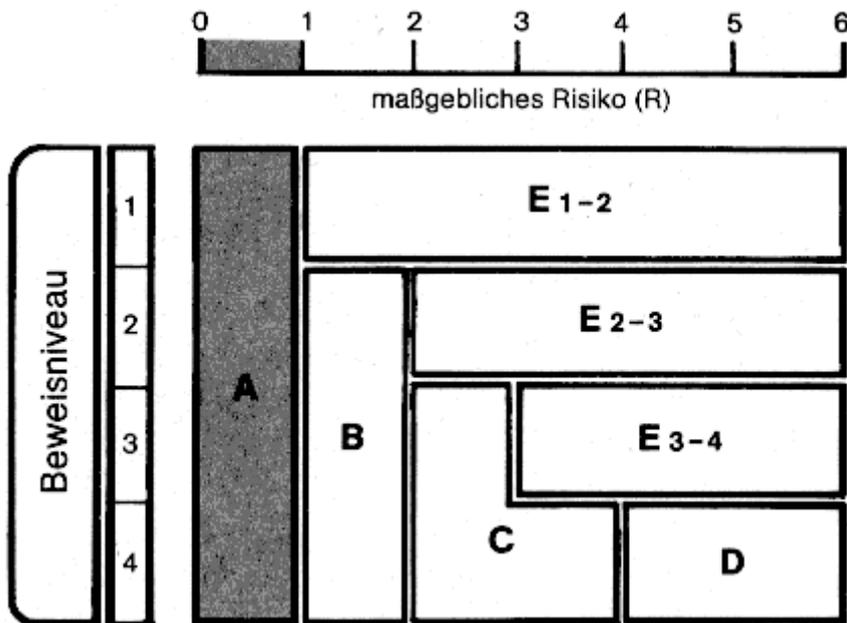
Die Gemeinden erhalten Informationen über alle Altlasten. Diese Informationen sind für die Gemeinden in ihrer Funktion als Träger der Planungshoheit erforderlich. Die Gemeinden sollten ihre Kenntnisse in das baurechtliche Verfahren einbringen. Da die Gemeinden Anlaufstelle im Baugenehmigungsverfahren ist und zu jedem Bauantrag Stellung nimmt, ist dort der Informationsfluß zur Baurechtsbehörde am einfachsten in Gang zu setzen.

Beispiele für die Standorte, die in der Altlastendatei belassen werden sollen, sind:

- ausreichend erkundet, vollständig mineralisiert, flächige Hausmüllablagerung auf tonig-lehmigem Untergrund bei vollständiger Ableitung von Oberflächen- und Hangwasser, ohne Verbindung zum Grundwasser, die über einen längeren Zeitraum kontrolliert worden sind und keine Gefahr erkennen lassen;
- standsichere Ablagerung von Bauschutt auf tonig-lehmigem Untergrund bei vollständiger Oberflächen- und Hangwasserableitung, ohne Verbindung zum Grundwasser, die über einen längeren Zeitraum kontrolliert wurden und keine Gefahr erkennen lassen;
- standsichere Ablagerungen von ortsfremden Erdaushub mit Verbindung zum Grundwasser; nach Art und Zusammensetzung können Veränderungen des Grundwassers in geringem Maße nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Im Überwachungserlaß des Ernährungsministeriums vom 24.04.1978 - 77 5202 (GABl. 1978, S. 939 ff) sind bestimmte Voraussetzungen angeführt, unter denen die Überwachung einer Hausmüllablagerung durch die technische Fachbehörde eingestellt werden kann.

4.3 Ausscheiden und Archivieren (A)



Wenn die Risikoermittlung bei allen vier Schutzgütern einen Wert von weniger als 1 für die Zahl des maßgeblichen Risikos ergibt, so ist der Standort als nicht schadstoffbelastet bewertet und in der Altlastendatei der Wasserwirtschaftsverwaltung mit dem Vermerk „Ausscheiden“ zu führen.

- Auffüllungen mit standortgleichem Bodenmaterial (oberhalb und unterhalb des Grundwasserspiegels), wenn sie standsicher sind;
- standsichere Geländeauffüllungen oberhalb des Grundwasserspiegels mit ortsfremden Bodenmaterial, bei dem jedoch aufgrund der Art und Zusammensetzung keine nachteilige Veränderungen der Gewässerqualität - z.B. durch Aufhärtung - zu befürchten ist;
- standsichere und rekultivierte ehemalige Deponien für Erdaushub, bei denen keine nachteiligen Veränderungen der vier Schutzgüter und keine sonstigen Gefahren befürchtet werden müssen;
- durch Abtrag vollständig sanierte ehemalige kontaminierte Standorte.

Die ausgeschiedenen Standorte sollen der Gemeinde mitgeteilt werden.

5. Rechtliche Gesichtspunkte der Altlastensanierung

5.1 Begriffsbestimmung

Was unter dem Begriff „**Altlasten**“ zu verstehen ist, ist nicht gesetzlich definiert. Als Altlast werden allgemeine Altablagerungen und Altstandorte bezeichnet, von denen wegen ihrer vormaligen Nutzung nach fachlicher Beurteilung Gefahren oder Beeinträchtigungen für die menschliche Gesundheit, für Tiere, Pflanzen, Wasser, Luft und Boden ausgehen können. Altlasten bedürfen daher weiterer Maßnahmen zur Erkundung, Behandlung oder verstärkter Überwachung.

Altablagerungen sind verlassene oder stillgelegte Ablagerungsplätze, insbesondere von gewerblichen und industriellen Abfällen sowie sog. wilde Ablagerungen von Abfällen. Verdächtig sind insbesondere auch ehemalige Hausmüllablagerungen von Gemeinden, bei denen nach Lage, Art und Umfang des angesiedelten Gewerbes bzw. der Industrie davon ausgegangen werden kann, daß auch schädliche Abfälle eingebracht wurden. Hierzu gehören wegen etwaige möglicher Umweltgefahren auch ehemalige Bauschuttdeponien, nicht jedoch gezielte Geländeänderungen, z.B. im Zusammenhang mit Bauvorhaben. Als verlassene Anlagen werden dabei Altablagerungen bezeichnet, die bei Inkrafttreten des Abfallbeseitigungsgesetzes (AbfG) am 11.06.1972 bereits stillgelegt waren, als stillgelegte Anlagen nach diesem Zeitpunkt stillgelegte Ablagerungen.

Altstandorte sind Flächen ehemaliger Industrie- oder Gewerbebetriebe oder Standorte ehemaliger Anlagen von Industrie- oder Gewerbebetrieben, auf denen vormals gefährliche Stoffe gelagert wurden oder mit solchen Stoffen umgegangen wurde und bei denen eine Kontamination des Bodens oder des Untergrundes zu besorgen ist.

Für kriegsbedingte Ablagerungen, wie z.B. von Kampfmitteln und Kriegsgeräten, aber auch Kontaminierungen infolge von Beschuß, Bombenabwurf und Sprengungen, ist in finanzieller Hinsicht durch das Kriegsfolgenlastengesetz der Bund zuständig.

5.2 Rechtsgrundlagen, Zuständigkeit

Ermächtigungen für behördliches Tätigwerden im Rahmen der Altlastenerkundung, - sanierung und - überwachung finden sich in einer ganzen Anzahl von verschiedenen Gesetzen. **Rechtsgrundlage** ist in der Regel das **Abfallrecht**. Daneben können auch Vorschriften einschlägig sein, die zum Schutz eines bestimmten Gutes, insbesondere des Wassers, erlassen wurden. Soweit die Spezialgesetze keine Regelungen, wie z.B. hinsichtlich des von der Behörde in Anspruch zu nehmenden Verantwortlichen, enthalten, ist auf das Polizeigesetz zurückzugreifen.

Je nach Fallgestaltung kommen daneben auch Schadensersatzansprüche, insbesondere nach § 823 BGB oder nach § 22 WHG, in Betracht.

Unabhängig davon, ob abfall-, wasser oder polizeirechtliche Vorschriften Anwendung finden, ist für Anordnungen die untere Wasserbehörde zuständig (vgl. §§ 10, 16 Abs. 1 LAbfG, § 82, 96 Abs. 1 WG). Für die Zuständigkeit kommt es nicht darauf an, ob die Veranlassung zum Einschreiten vor oder nach Inkrafttreten der jeweils einschlägigen Gesetze begründet wurde.

5.3 Abfallrechtliche Vorschriften

5.3.1 Illegale Ablagerungen

Werden Abfälle im Sinne des AbfG entgegen § 4 Abs. 1 AbfG außerhalb der dafür zugelassenen Abfallentsorgungsanlagen gelagert oder abgelagert, ist die Wasserbehörde berechtigt, gegenüber dem hierfür Verantwortlichen die erforderlichen Maßnahmen anzuordnen. Die Ermächtigung hierfür finden sich in der Generalklausel des § 10 LAbfG.

5.3.2 Nachträgliche Anordnungen

Nach § 8 Abs. 1 Satz 3 AbfG ist die Aufnahme, Änderung oder Ergänzung von Auflagen über Anforderungen an Abfallentsorgungsanlagen oder ihren Betrieb auch dem Ergehen des Planfeststellungsbeschuß oder nach der Erteilung der abfallrechtlichen Genehmigung zulässig.

Bei Inkrafttreten des AbfG bestehende oder in der Errichtung befindliche ortsfeste Abfallentsorgungsanlage waren nach dem früheren § 9 Abs: 1 AbfG innerhalb von 6 Monaten anzuzeigen. Die zuständige Behörde kann für diese Anlagen auch jetzt noch Befristungen, Bedingungen und Auflagen anordnen bzw. den Betrieb ganz oder teilweise untersagen, wenn eine erhebliche Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit durch Auflagen, Bedingungen und Befristungen nicht verhindert werden kann. § 9 AbfG mit der Möglichkeit der Betriebsuntersagung kann nach der Rechtsprechung nur auf formell oder materiell legale Anlagen angewandt werden (vgl. BVerwG, Urteil vom 01.12.1982, BVerwGE 66, 298; OVG Münster, Beschluß vom 21.09.1982, ZfW 1983, 124; HessVgH, Beschluß vom 28.04.1978, NJW 1979, 178).

5.3.3 Stilllegung von Anlagen

Nach § 10 Abs. 1 AbfG hat der Inhaber einer Abfallentsorgungsanlage deren beabsichtigte **Stilllegung** unverzüglich der zuständigen Behörde anzuzeigen. Nach Absatz 2 soll die zuständige Behörde den Inhaber verpflichten, auf seine Kosten das Gelände, das für die Abfallentsorgung verwandt worden ist, zu rekultivieren und sonstige Vorkehrungen zu treffen, die erforderlich sind, Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit zu verhüten. § 10 Abs. 2 AbfG wurde als Sollvorschrift erlassen, um die Behörde nicht zu Anordnungen zur Rekultivierung zu verpflichten, die sich wegen einer anderen beabsichtigten Nutzung, z.B. zur Industrieansiedlung, als nutzlos erweisen würden. Aus dem rechtsstaatlichen Rückgewinnungsverbot folgt, daß § 10 Abs. 2 AbfG nicht auf vor dem Inkrafttreten des AbfG stillgelegte (verlassene Anlagen) angewandt werden darf. Für diese Anlagen können Anforderungen nach Wasserrecht und/oder der landesgesetzlichen abfallrechtlichen abfallrechtlichen Generalklausel in § 10 LAbfG getroffen werden.

5.3.4 Abfallrechtliche Überwachung

Die zuständige Behörde kann die **abfallrechtliche Überwachung** nach § 11 AbfG, die der Betreiber von Abfallentsorgungsanlagen zu dulden und im Rahmen des § 11 Abs. 4 AbfG zu unterstützen hat, auch auf vor dem Inkrafttreten des AbfG stillgelegte Abfallbeseitigungsanlagen erstrecken, wenn dies zur Wahrung des Wohls der Allgemeinheit erforderlich ist.

Nach § 11 Abs. 4 in der Fassung des am 01.11.1986 in Kraft getretenen AbfG kann sich die abfallrechtliche Überwachung auch auf Grundstücke erstrecken, auf denen vor Inkrafttreten des AbfG Abfälle behandelt, gelagert oder abgelagert wurden. Auch wird für die Eigentümer und Nutzungsberechtigten solcher Grundstücke eine Auskunftspflicht gegenüber den Beauftragten der Überwachungsbehörde eingeführt.

Die Auskunftspflicht nach § 11 Abs. 4 AbfG gegenüber der Überwachungsbehörde und deren Recht, die für die Abfallentsorgung verwendeten Grundstücke durch ihre Beauftragten betreten zu dürfen, besteht auch für Abfallentsorgungsanlagen, die vor Inkrafttreten des AbfG stillgelegt wurden (vgl. § 11 Abs. 1 Satz 2 i.V.m. § 11 Abs. 4 AbfG). Danach sind auch diese stillgelegten Abfallbeseitigungsanlagen den Überwachungsbehörden zugänglich zu machen, die zur Überwachung erforderlichen Arbeitskräfte, Werkzeuge und Unterlagen zur Verfügung zu stellen sowie nach Anordnungen der zuständigen Behörden Zustand und Betrieb der Abfallentsorgungsanlage auf Kosten des ehemaligen Betreibers überprüfen zu lassen.

Soweit die Behörde aufgrund der Überwachung nach § 11 AbfG jedoch feststellt, daß Maßnahmen an stillgelegten Abfallbeseitigungsanlagen selbst nicht geeignet sind, die Gefahren zu beseitigen, weil diese bereits an anderer Stelle außerhalb der Abfallbeseitigungsanlage aufgetreten sind (sog. verselbstständigte Gefahren), können nur Maßnahmen aufgrund polizeirechtlicher, ggf. auch wasserrechtlicher, Vorschriften getroffen werden.

5.3.5 Kostentragung

Die Frage, wer die **Kosten der Erkundung, Sanierung und Überwachung** zu tragen hat, löst das AbfG nur zum Teil. Adressaten für Anordnungen nach § 8 Abs. 1 Satz 3 und § 9 AbfG und damit Kostenträger sind dem Zweck dieser Vorschriften entsprechenden die jeweiligen Betreiber der Abfallentsorgungsanlage. Nach § 10 Abs. 2 AbfG hat der Inhaber der stillgelegten Anlagen die Kosten der nach dieser Vorschrift ausgesprochenen Verpflichtungen zu tragen. Die Kosten der abfallrechtlichen Überwachung trägt nach § 11 Abs. 4 AbfG der Beseitigungspflichtige. In allen übrigen Fällen richtet sich die Pflicht zur Kostentragung nach den allgemeinen polizeirechtlichen Vorschriften über die Störerhaftung.

5.4 Wasserrechtliche Vorschriften

Von Altlasten gehen häufig Gefahren für Gewässer, insbesondere für das Grundwasser, aus. Bei Altlasten, die vor dem Inkrafttreten des AbfG, jedoch nach dem Inkrafttreten des Wasserhaushaltsgesetzes - WHG - am 01.03.1960 stillgelegt wurden oder noch nicht abgeschlossen waren, und von denen Gefahren für das Schutzgut Wasser ausgehen, können deshalb für die Beurteilung des Anforderungsniveaus die Vorschriften des Wasserrechts einschlägig sein. Für

nach Inkrafttreten des AbfG am 11.06.1972 stillgelegte Altlasten finden die wasserrechtlichen Vorschriften nur insoweit Anwendung, als das Abfallrecht keine abschließenden Regelungen enthält. Keine abschließende Regelungen ist § 10 Abs. 2 AbfG.

Für Altlasten aus Anlagen, die vor dem Inkrafttreten des WHG stillgelegt wurden, gelten die Wassergesetze der Länder bzw. deren Vorgängergesetze soweit sie über das allgemeine Polizeirecht hinausgehende Bestimmungen enthalten.

Nach § 21 WHG ist derjenige, der ein Gewässer über den Gemeingebrauch hinaus benutzt, verpflichtet, eine behördliche Überwachung der Anlagen, Einrichtungen und Vorgänge zu dulden, die für die Gewässerbenutzung von Bedeutung sind. § 21 WHG gibt der zuständigen Behörde ein Betretungsrecht für die betreffenden Grundstücke und verpflichtet den Grundstückseigentümer und -besitzer zur Erteilung von Auskünften sowie dazu, Arbeitskräfte, Unterlagen und Werkzeuge zur Verfügung zu stellen und technische Ermittlung und Prüfungen zu ermöglichen.

Inwieweit die materiellen Anforderungen der §§ 26 Abs. 2 und 34 Abs. 2 WHG auf Abfallablagerung Anwendungen finden und nach welchem Maßstab deshalb Sanierungsmaßnahmen angeordnet werden können, ist durch die Rechtsprechung noch nicht abschließend geklärt. Nach § 26 Abs. 2 WHG dürfen Stoffe an einem Gewässer nur so gelagert werden oder abgelagert werden, daß eine Verunreinigung des Wassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaft nicht zu besorgen (!) ist. § 34 Abs. 2 WHG bestimmt dies für sonst ge- oder abgelagerte Stoffe. Für eine Besorgnis genügt es, wenn die Möglichkeit eines Schadenseintritts nach den gegebenen Umständen und im Rahmen einer auf sachlich vertretbaren Feststellungen beruhenden Prognose nicht von der Hand zu weisen ist (vgl. BVerwG, Urteil vom 12.09.1980, ZfW 1981, 87; Urteil vom 26.06.1970, ZfW 109, 112).

§ 2 Abs. 1 Satz 2 AbfG verlangt demgegenüber „nur“, daß Abfälle so zu beseitigen sind, daß das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird, unter anderem insbesondere nicht dadurch, daß Gewässer schädlich beeinflusst werden. Was dem Wohl der Allgemeinheit entspricht, ergibt sich aus einer Abwägung der einander gegenüberstehenden privaten und öffentlichen Belange. Diese Abwägung kann durchaus zu einer Relativierung von in anderen Gesetzen enthaltenen zwingenden Bestimmungen führen, was insbesondere für den in § 34 WHG enthaltenen Besorgnisgrundsatz hinsichtlich einer Gewässerverunreinigung gelten dürfte. Eine Ablagerung von Abfällen erfüllt die gesetzlichen Anforderungen auch dann, wenn insoweit in bewußter Abweichung vom Wortlaut des WHG lediglich beachtet wird, daß im Rahmen der Bestimmung des Wohls der Allgemeinheit Gewässer nicht schädlich beeinflusst werden (vgl. hierzu bereits Sautter, ZfW 1973/74, S. 213). Man wird daher bei der Festlegung des Maßstabs, der an die Sanierung von Abfallablagerung gestellt werden muß oder kann, darauf abstellen müssen, welche konkrete Gefahr von einer Ablagerung für das Grundwasser ausgeht. So werden bei einer aktuellen Beeinträchtigung des Grundwassers, das für die Trinkwasserversorgung in Anspruch genommen wird, strengere Maßstäbe anzulegen sein, als wenn „nur“ eine Gefahr für das Grundwasser zu befürchten ist. Dies kann dazu führen, daß bereits eine Besorgnis der Gewässerverunreinigung im Sinne von § 34 WHG zum Maßstab der Sanierung gemacht wird.

Bei unerlaubten Gewässerbenutzungen etwa im Sinne des § 3 Abs. 1 Nrn. 4 und 5, Abs. 2 Nr. 2 WHG kann aufgrund von § 82 Abs. 3 WG die weitere Benutzung untersagt werden. Dabei

ist jedoch zu berücksichtigen, daß eine Gewässerbenutzung ein darauf zielendes Verhalten voraussetzt. Die unbeabsichtigte Verursachung einer Gewässerverschmutzung ein darauf zielendes Verhalten voraussetzt. Die unbeabsichtigte Verursachung einer Gewässerverschmutzung stellt deshalb noch keine Gewässerbenutzung dar. Dies gilt auch für die §§ 26, 34 WHG (vgl. BVerwG, Urteil vom 16.11.1973, DÖV 1974, 207).

Nach den landesrechtlichen Bestimmungen ist die zuständige Behörde regelmäßig befugt, die zur Beseitigung festgestellter Mängel, widerrechtlicher Benutzungen und unzulässiger Anlagen erforderlichen Anordnungen zu erlassen (vgl. § 82 Abs. 3 Wassergesetz für Baden-Württemberg - WG).

Nach einem Urteil des VGH Baden-Württemberg vom 13.02.1985, DÖV 1985, 687, läßt § 82 Abs. 3 des WG als umfassende Eingriffsermächtigung auch Anordnungen zu, die der Feststellung der Ursachen und des Verursachers einer Grundwasserunreinigung dienen.

Das VG Karlsruhe hat in seinem Urteil vom 23.02.1983, ZfW 1985, 55, ausgeführt, daß es zur Ausräumung der „Besorgnis“ im Sinne von § 34 Abs. 2 WHG erforderlich sein kann, dem Verantwortlichen nicht nur gefahrenbeseitigende Maßnahmen im eigentlichen Sinn, sondern auch solche Maßnahmen aufzugeben, die - als Vorstufe - zunächst der Gefahrenerkennung dienen. Zweck der angeordneten Pegelniederbringung war es, den räumlichen Umfang einer Verschmutzung festzustellen sowie Erkenntnisse über die ins Grundwasser gelangten Stoffe und den jeweiligen Verschmutzungsgrad zu gewinnen. Die gegen das Urteil eingelegte Berufung wurde aus den Gründen des angefochtenen Urteils zurückgewiesen (VGH Baden-Württemberg, Beschluß vom 14.05.1984 - 5 S 1306/83).

5.5 Polizeirechtliche Vorschriften

5.5.1 Anwendungsbereich

Bestehen insbesondere bei Altlasten, die vor Inkrafttreten des AbfG und des WHG stillgelegt wurden, für die Überwachung und Sanierung keine speziellen gesetzlichen Vorschriften, gelten die allgemeinen polizeirechtlichen Vorschriften. Das Polizeigesetz findet auch Anwendung bei Schadstoffbelastungen der Böden, die nicht auf Abfallablagerungen zurückgehen und die keine Gewässerverschmutzung verursachen. Nach Polizeirecht richtet sich auch bei der Anwendung von Spezialgesetzen, wer im Fall einer polizeilichen Gefahr für die öffentliche Sicherheit oder Ordnung Adressat der behördlichen Anordnung ist und die Kosten der angeordneten Maßnahmen zu tragen hat, da diese Spezialgesetze hierzu häufig keine eigenen Regelungen treffen.

5.5.2 Polizeipflichtigkeit

Das Polizeigesetz unterscheidet hinsichtlich der Adressaten behördlicher Anordnungen Anordnungen zwischen der Inanspruchnahme des Verursachers (Handlungsstörer) und des Eigentümers oder Inhabers der tatsächlichen Gewalt (Zustandsstörer). Kann der polizeiliche Zweck durch Maßnahmen gegen den Handlungs- oder den Zustandsstörer nicht oder nicht rechtzeitig erreicht werden, ist die Polizei zur unmittelbaren Ausführung der Maßnahme befugt. Werden z.B. starke Grundwasserunreinigung festgestellt, so ist die Behörde regelmä-

Big ermächtigt, die notwendigen Schadensbegrenzungsmaßnahmen im Wege der unmittelbaren Ausführung selber vorzunehmen (VGH Baden-Württemberg, Urteil vom 11.10.1985 - 5 S 1738/85). Der Pflichtige hat in diesem Fall der Behörde die ihr entstandenen Kosten zu erstatten. Erforderlichenfalls kommt auch eine Ersatzvornahme, das ist die Ausführung der angeordneten Maßnahme durch die Behörde oder einen von ihr beauftragten Dritten auf Kosten des Pflichtigen, in Betracht.

Kann auf andere Weise eine unmittelbare bevorstehende Störung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung nicht verhindert oder beseitigt werden, reichen insbesondere die eigenen Mittel der Polizei nicht aus so kann die Wasserbehörde Maßnahmen auch gegenüber einer unbeteiligten Person, einem Nichtstörer, treffen. Der in Anspruch genommene Nichtstörer kann ggf. eine angemessene Entschädigung für den ihm durch die Maßnahmen entstandenen Schaden verlangen.

5.5.3 Umfang der Polizeipflicht

Hinsichtlich der Inanspruchnahme der Polizeipflichtigen ist zu berücksichtigen, ob es sich dabei um Maßnahmen zur Ermittlung einer polizeilichen Gefahr, zur Sanierung oder zur Reaktivierung von Altlasten handelt.

Besteht lediglich der Verdacht, daß von einer Altlast eine Gefahr ausgeht und sind weitere Ermittlungen notwendig, um festzustellen, ob tatsächlich die hinreichende Wahrscheinlichkeit eines Schadenseintritts besteht, also eine objektive Gefahr gegeben ist, kann die Behörde nur vorläufig Maßnahmen treffen, die zur weiteren Aufklärung des Sachverhalts unumgänglich sind. Da die Behörde nach § 24 LVwVfG den Sachverhalt von Amts wegen zu ermitteln hat, kann sie vom polizeirechtlich Verantwortlichen nur verlangen, daß dieser die behördlichen Untersuchungsmaßnahmen, wie z.B. Probennahmen, Probebohrungen, die Einholung von Sachverständigengutachten usw., duldet. Etwas anderes folgt auch nicht aus § 26 Abs. 2 LVwVfG, wonach die Beteiligten bei der Ermittlung des Sachverhalts mitwirken sollen, denn eine weitergehende Pflicht zur Mitwirkung bei der Ermittlung des Sachverhaltes besteht danach nur, soweit sie durch Rechtsvorschriften besonders vorgesehen ist. Solche weitergehenden Mitwirkungspflichten sieht das Polizeigesetz nicht vor.

Ist allerdings aufgrund der Polizeibehörde getroffenen Feststellungen eine Gefahr für die öffentliche Sicherheit zu bejahen, so sind die Maßnahmen, die der Feststellung des Umfangs der Gefahr dienen, bereits die Maßnahmen der Gefahrenabwehr (VG Köln, Urteil vom 09.10.1984 - 14 K 2419/83); (vgl. auch VHG Baden-Württemberg, Urteil vom 13.02.1985, DÖV 1985, 687; VG Karlsruhe, Urteil vom 23.02.1983, ZfW 1985, 55). Das OVG Münster hat in seinem Beschluß vom 10.01.1985, NVwZ 1985, 355, ausgeführt, daß es zwar grundsätzlich Aufgabe der Ordnungsbehörde ist, den Sachverhalt zu ermitteln. Indessen sei anerkannt, daß auf § 14 OBG NW gestützte Anordnungen, die sich als Bestandteil umfassender Maßnahmen zur Gefahrenabwehr darstellen, nicht deshalb bereits rechtswidrig sind und im Widerspruch zu § 20 Abs. 2 Satz 1 OBG stehen, wenn sie auch der Aufsichtserleichterung dienen.

Ist eine Störung bereits bekanntgeworden, sind ihr Umfang und ihre Auswirkungen aber noch nicht voll übersehbar, dann können nach dem Beschluß des BayVGH vom 23.05.1986, NVwZ 1985, 942, Maßnahmen zur Abklärung dieser Frage sowohl als Ermittlung in bezug auf mög-

licherweise künftig auftretende weitere Störungen als auch als erster Schritt der Beseitigung weiterer Folgen der bereits bekannten Störung gedeutet werden, gewissermaßen also als Diagnose und Therapie zugleich. Unter solcher Umständen stehen den Behörden daher Rechtsgrundlagen sowohl für Anordnungen als auch für eigenes Handeln zur Verfügung. Da eine gesetzliche Abgrenzung fehlt, liegt es nahe, die Entscheidung zwischen beiden Arten des Vorgehens dem behördlichen Ermessen zu überlassen.

Die Polizei- und Ordnungsbehörden sind bei Anordnungen hinsichtlich der Sanierung und Rekultivierung, wie übrigens auch der Überwachung, an die Grundsätze der Verhältnismäßigkeit und Erforderlichkeit gebunden. Aus diesem Grunde werden nach Polizei- und Ordnungsrecht häufig Maßnahmen nur zur Sanierung, nicht aber zur Rekultivierung von Altlasten in Betracht kommen, da eine Rekultivierung regelmäßig zur Beseitigung der konkreten Gefahr nicht erforderlich ist.

5.5.4 Handlungs- oder Verhaltensstörer

Als **Handlungs- oder Verhaltensstörer** kann nur in Anspruch genommen werden, wer die Gefahr verursacht hat. Anders als im Strafrecht findet die sog. Äquivalenztheorie im Polizei- und Ordnungsrecht keine Anwendung, da nach der Äquivalenztheorie jede Bedingungen im naturwissenschaftlichen Sinn ohne Begrenzung durch das Verschulden wie das Strafrecht kausal und damit auch jede Person polizeirechtlich verantwortlich wäre, die nur mittelbar die Gefahr verursacht hat. Aus diesem Grunde liegt polizeirechtlich eine Verursachung nur dann vor, wenn die Gefahr unmittelbar verursacht wurde.

Daraus folgt, daß der Erzeuger von Abfällen nur dann als Verursacher von Altlasten in Anspruch genommen werden kann, wenn er selbst Abfälle abgelagert hat. Eine unmittelbare Ablagerung liegt nicht vor, wenn der Abfallerzeuger die Abfälle einem Dritten, z.B. einer Kommune, zur Ablagerung überlassen hat, es sei denn, daß der Betreiber der Deponie auf die Art und den Ort der Ablagerung keinen Einfluß nehmen konnte.

Für die Frage, ob ein Verhalten polizeiwidrig ist, kommt es allein auf die objektive Situation an, nicht dagegen auf die Möglichkeit des als Störer in Anspruch genommenen, die objektiv gegebene Gefahrenlage zu erkennen. Etwas anders hätte nur dann zu gelten, wenn die zur Vermeidung z.B. einer Grundwasserbeeinträchtigung notwendigen Maßnahmen rechtlich vorgegeben wären, etwa durch eine Rechtsverordnung, eine normkonkretisierende Verwaltungsvorschrift oder durch ein gesetzliches Abstellen auf den Stand der Technik, wie z.B. in § 5 Abs. 1 Nr. 2 BImSchG (so VGH Baden-Württemberg, Urteil vom 11.09.1986, - 5 S 2295/86).

Bei der Störerhaftung ist auch zu bedenken, daß ehemalige Ablagerungen und Produktionsstätten häufig behördlich zugelassen oder wenigstens geduldet wurden. Es stellt sich daher die Frage der Legalisierungswirkung solchen behördlichen Handelns.

Die Rechtsprechung verneint die Legalisierungswirkung einer gewerberechtlichen Anzeige nach § 16 Abs. 4 GewO bzw. § 67 Abs. 2 BImSchG (vgl. BVerwG, Urteil vom 02.12.1977, BVerwGE 55, 118, 122).

Nach dem Urteil des OVG Münster vom 10.01.1995, NVwZ 1995, 355, ändert auch eine berechtigte Zulassung nichts an der polizeirechtlichen Haftung des Unternehmers. Ob die Re-

gel, daß derjenige nicht als Störer anzusehen ist, der lediglich eine von der Rechtsordnung vorgesehene Möglichkeit der Rechtsausübung in sozialüblicher Weise wahrgenommen hat, auch für bergbaurechtliche Betriebshandlungen gilt, ist nach Auffassung des OVG Münster zweifelhaft. Gegen diese Annahme spreche, daß die Betriebshandlungen des Bergbaus von vornherein eine im Verhältnis zum Normalmaß erhöhte Gefahrentendenz zeigen. Die Betriebsplanzulassung diene demgemäß ebenso wie die Genehmigung zum Abbruch einer Produktionsanlage der präventiven Gefahrenabwehr, so daß fraglich erscheine, ob es durch sie sanktioniert werde, wenn durch die zugelassenen Betriebshandlungen Gefahren für die öffentliche Sicherheit herbeigeführt werden. Das OVG Münster hatte bereits in seinem Urteil vom 18.04.1961, OVGE 16, 289, eine Kraftwerksbetreiberin trotz gültiger gewerberechtlicher Genehmigung als Handlungsstörerin zur Beseitigung des durch Kühltürme verursachten Glatteises verurteilt.

Der VGH Baden-Württemberg hat in seinem Urteil vom 11.09.1986 - 5 S 2296/86 - die Legitimationswirkung einer Baugenehmigung für eine Entfettungsanlage, die mit chlorierten Kohlenwasserstoffen arbeitete, auf deren Regelungsgehalt beschränkt. So habe die Baugenehmigung keinerlei Bestimmungen darüber enthalten, aus welchem Material der Fußboden herzustellen und wie mit der in der Anlage gereinigten Metallteilen zu verfahren war, insbesondere habe die Genehmigung nicht vorgesehen, daß die entfetteten Stücke zunächst neben der Anlage zwischengelagert wurden, wobei es zu Tropfverlusten kommen mußte.

Hat die Behörde die Produktion oder eine Ablagerung nur geduldet, kann daraus auf eine Legalisierung nicht geschlossen werden, da das behördliche Nichteinschreiten und dessen Gründe, wie z.B. Unkenntnis oder Abwarten der Klärung strittiger Sach- oder Rechtsfragen oder Nachlässigkeit, nicht mit einem nach geordnetem Verfahrensrecht ablaufenden Zulassungsverfahren verglichen werden kann.

Ebenso kann die Befugnis der Behörde zu Eingriffen nach Polizei- oder Ordnungsrecht nicht verwirkt werden. Verwirkt werden kann eine behördliche Eingriffsbefugnis nach dem Urteil des BVerwG vom 07.02.1974, BVerwGE 44, 339, 342, nur dann, wenn ihre Geltendmachung als Verstoß gegen Treu und Glauben erscheinen muß. Weitere Voraussetzung ist, daß die Behörde auf ihre Eingriffsbefugnisse verzichten konnte, was im Bereich des Polizei- und Ordnungsrechts nicht der Fall ist. Das Ermessen, das der Behörde im Bereich des Polizei- und Ordnungsrechtes zusteht, hat sie nicht nach ihrem Belieben, sondern pflichtgemäß auszuüben. Sie kann daher auf die Ausübung ihres Ermessens nicht verzichten. Eine Korrektur für dadurch bedingte Unzuträglichkeiten kann allenfalls der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit sein, dem das behördliche Handeln unterliegt (vgl. BVerwG, Urteil vom 10.02.1978, ZfW 1978, 371).

5.5.5 Zustandsstörer

Als **Zustandsstörer** der Eigentümer oder der Inhaber der tatsächlichen Gewalt eines Grundstückes oder einer Sache, von dem bzw. von der eine Gefahr ausgeht, in Betracht kommen. Die Haftung des Grundstückseigentümers oder -besitzers dürfte sich aufgrund des Beschlusses des Bundesverfassungsgerichts vom 15.07.1981, BVerfGE 58, 300, in der Tiefe allerdings nur auf den Grundstücksteil erstrecken, der oberhalb des Grundwasserspiegels liegt, auf den Bereich unterhalb des Grundwasserspiegels nur insoweit, als das betreffende Grundstück für die im Grundstück festgestellten Verunreinigungen ursächlich ist. Dies gilt auch dann, wenn die

ins Grundwasser gelangten Schadstoffe nur durch auf das Grundwasser bezogene Maßnahmen beseitigt werden können (vgl. VGH Baden-Württemberg, Urteil vom 11.10.1985, DÖV 1986, 249).

Bei der Zustandshaftung des Grundstückseigentümers oder -besitzers stellt sich die Frage einer Einschränkung der Zustandshaftung, wenn z.B. der Grundstückseigentümer, der in den Besitz des Grundstücks in Unkenntnis der von diesem ausgehenden Gefahren gelangt ist, wegen der polizeirechtlichen Haftung keinen Nutzen mehr von dem Eigentum mehr hat.

Hier stellt der VGH Baden-Württemberg in seinem Urteil vom 21.09.1983, Natur und Recht 1985, 70, fest, daß für das Vorliegen einer Zustandshaftung eine irgendwie geartete Beziehung zur Entstehung des rechtswidrigen Zustands nicht erforderlich ist. Auf eine Störungsabsicht des Eigentümers komme es dabei nicht an. So ist es nach dem Urteil des VGH Baden-Württemberg vom 11.10.1985, DÖV 1986, 249, unbeachtlich, ob Kriegsereignisse oder eine vom Rechtsvorgänger des Grundstückseigentümers zu vertretene Undichtheit eines Tanks die Grundwasserverunreinigung herbeigeführt haben.

Die Zustandshaftung des Eigentümers für eine von seiner Sache ausgehende Störung ist nach dem Beschluß des BayVGH vom 13.05.1986, NVwZ 1986, 942, grundsätzlich Ausdruck der Sozialbindung des Eigentums, jedoch durch das Übermaßverbot begrenzt.

5.5.6 Auswahl unter mehreren Polizeipflichtigen

Bei mehreren für die Gefahr Verantwortlichen hat die Behörde nach pflichtgemäßem Ermessen zu entscheiden, gegen wen sie ihre Anordnungen richtet. Bei der Auswahl des Polizeipflichtigen ist dabei maßgebend, daß die Gefahr möglichst schnell und wirksam beseitigt werden kann. Dies kann erfordern, daß nicht der Störer in Anspruch genommen wird, der die Gefahrenlage verschuldet hat, denn Verschulden ist nicht Voraussetzung für die Störereigenschaft, sondern derjenige, der finanziell leistungsfähig ist.

Besteht die Auswahlmöglichkeit sowohl zwischen dem Verhaltensverantwortlichen als auch dem Zustandsverantwortlichen, so wird eine Inanspruchnahme des ersteren in Betracht kommen. Dabei ist allerdings auch zu berücksichtigen, wer bei einer unter Zeitdruck stehenden Entscheidung ohne großen Zeitaufwand als erster ermittelt werden kann. Im Falle von Altlasten können für eine Inanspruchnahme des Zustandsstörers anstelle des Handlungsstörers sprechen: eine mangelnde Sicherung des Grundstücks gegen Ablagerungen, ein lange zurückliegender Zeitpunkt oder ungeklärte Umstände der Ablagerung. Im Hinblick auf eine etwa vorrangig notwendige Inanspruchnahme des Handlungsstörers trägt dann der Zustandsstörer die materielle Beweislast (BayVGH, Beschluß vom 13.05.1986, NVwZ 1986, 942).

Ist jemand gleichzeitig Verhaltens- und Zustandsstörer (Doppelstörer), so ist die Anordnung, auch wenn daneben andere Polizeipflichtige vorhanden sind, regelmäßig gegen den Doppelstörer zu richten.

Ein finanzieller Ausgleich zwischen dem Inanspruchgenommenen und anderen Polizeipflichtigen kann - wenn überhaupt - nur aufgrund bürgerlichen Rechts erfolgen, da das Polizeirecht einen solchen Ausgleich nicht kennt (hierzu BGH, Urteil vom 11.06.1981, NJW 1981, 2457; Urteil vom 18.09.1986, UPR 1987, 29).

Anlagen

Anlage 1: Hydrogeologisches Erkundungsprogramm

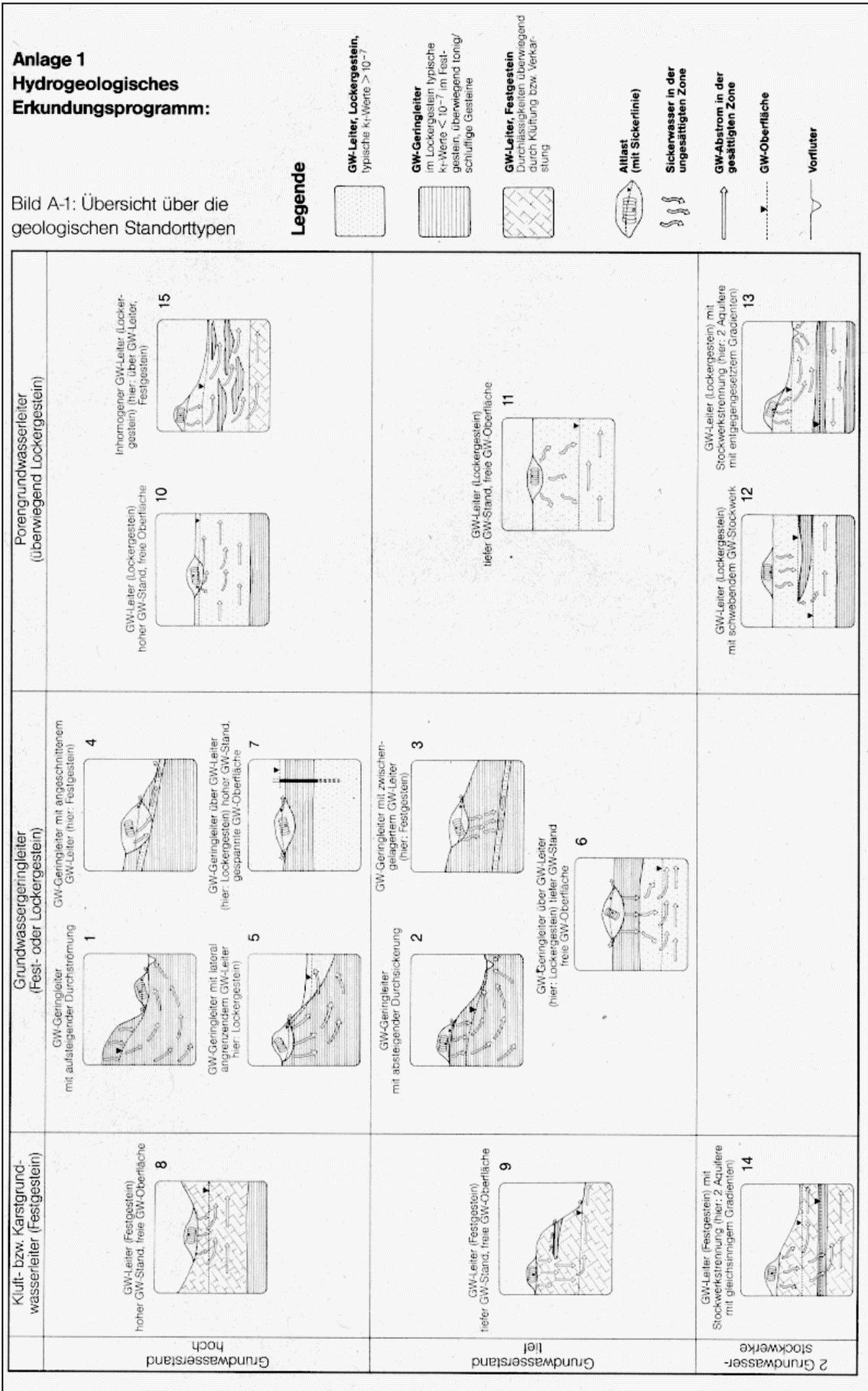
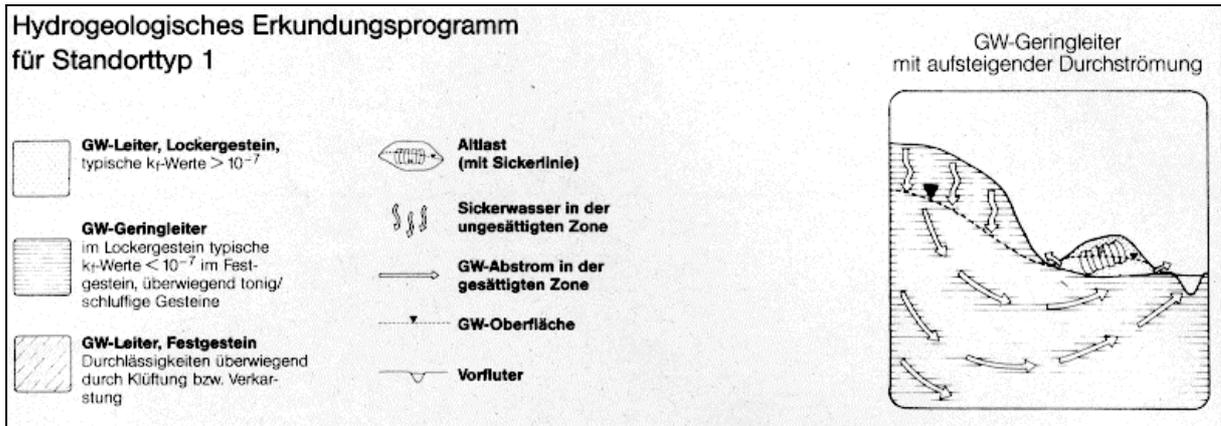


Bild A-1: Übersicht über die geologischen Standorttypen

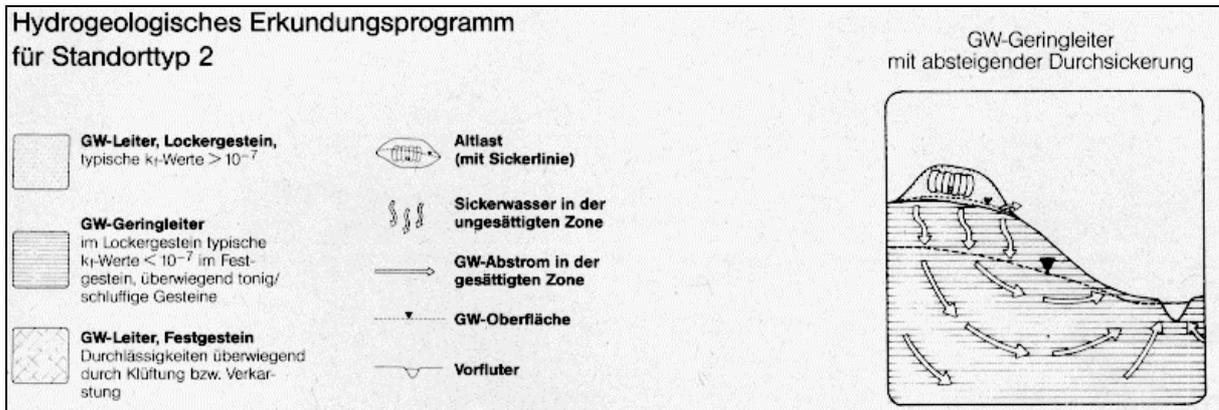
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 1



Risikobereiche	Zu ermittelnde Gegebenheiten oder Größen	Methoden
II. Schadstoffeintrag	entfällt (Gefahrenherd hat Kontakt mit GW)	entfällt
III. Schadstofftransport und -wirkung	Mächtigkeit und Aufbau des GW-Geringleiters, Einlagerung mit erhöhter Durchlässigkeit (falls in relevanter Tiefe vorhanden) → Typ 3 oder Typ 4 Strömungsrichtung des GW (auf- oder absteigend → Typ 1 oder Typ 2) Strömungsgeschwindigkeit des GW (soweit erfaßbar) Evtl. diffuse Schadstoffausbreitung ¹⁾ entgegen aufsteigendem Grundwasser Grundwasserbeschaffenheit Grundwasseralter und -herkunft	Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen mit unterschiedlicher Filtertiefe → Grundwassergleichenplan (soweit zusammenhängender GW-Körper nachweisbar) Untersuchung von Boden- und GW-Proben aus dem Bereich unter dem Gefahrenherd auf Schadstoffgehalte Laboruntersuchung (chemisch, mikrobiologisch); vertikales Leitfähigkeitsprofil Isotopenmessung
IV. Grundwasserbedeutung	entfällt (GW-Geringleiter nicht nutzbar, da zu unergiebig und vielfach von ungünstiger GW-Beschaffenheit)	entfällt

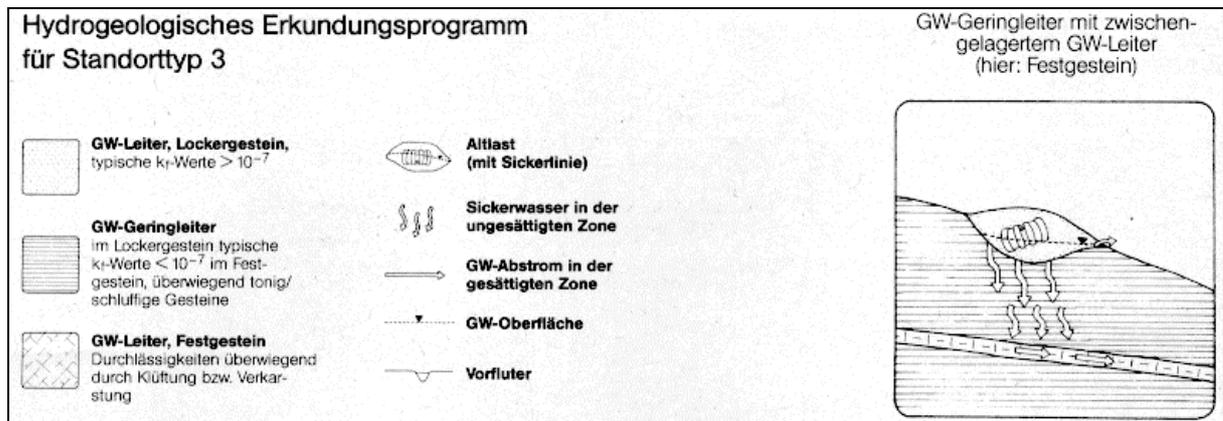
1) Neuere Forschungen haben gezeigt, daß bei einer Durchlässigkeit $< 10^{-8}$ der Schadstofftransport durch Diffusion dominiert gegenüber dem durch Konvektion. (Für einige Stoffe konnten Wanderwege von ca. 3m in 12 Jahren nachgewiesen werden.)

Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 2



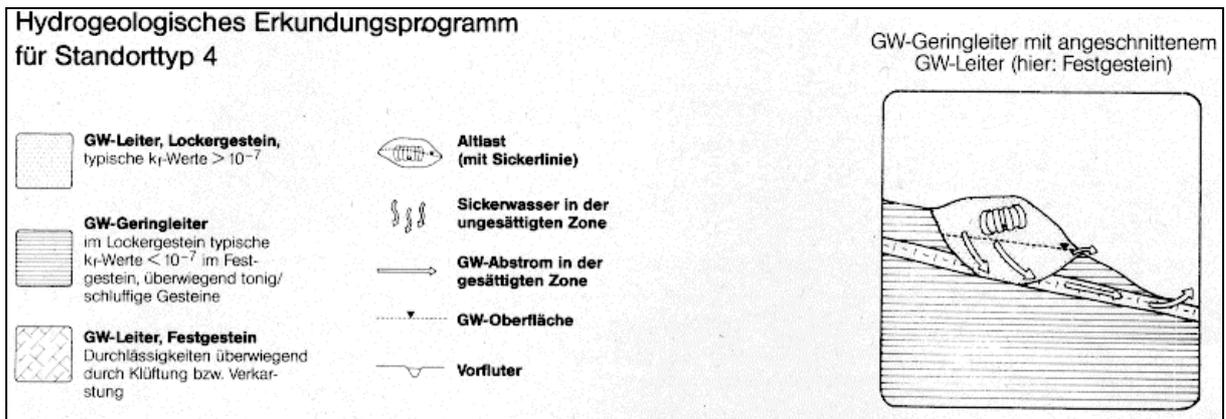
Risikobereiche	Zu ermittelnde Gegebenheiten oder Größen	Methoden
II. Schadstoffeintrag	Tiefenlage des GW-Spiegels unter dem Gefahrenherd (soweit ein zusammenhängender GW-Spiegel vorhanden ist.) Durchlässigkeit der wassergesättigten Zone (häufig erhöhte Durchlässigkeit im oberflächennahen Bereich)	Wasserstandsmessungen im GW-Meßstellen (Hoch- und Tiefstände) Abschätzung nach Feldbeobachtungen an Baggerschürfen oder Bohrungen (Trennflächen, Verfüllungshorizonte)
III. Schadstofftransport	Mächtigkeit und Aufbau des GW-Geringleiters, mögliche bevorzugte Fließwege (Klüftungen, Störungen) Einlagerungen mit erhöhter Durchlässigkeit → Typ 3 oder Typ 4 Gebirgsdurchlässigkeit des GW-Geringleiters Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit des GW-Leiter (soweit erfaßbar) Weitere schadstofftransportrelevante Parameter (eff. Hohlraumanteil, hydraulischer Gradient, Dispersivität) Gesteinschemische Eigenschaften (Austauschkapazitäten, Sorptionseigenschaften) Grundwasserbeschaffenheit	Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Pumptests, Slugtests, Packertests (Drillstem Tests, WD-Tests mit niedrigem Druck, Doppelpacker u.ä.) Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen → Grundwassergleichenplan (soweit zusammenhängender GW-Körper nachweisbar) spezielle hydrogeologische Methoden spezielle Laboruntersuchungen Laboruntersuchungen (chemische, mikrobiologisch); vertikales Leitfähigkeitsprofil
IV. Grundwasserbedeutung	entfällt (GW-Geringleiter nicht nutzbar, da zu nergiebig und vielfach von ungünstiger GW-Beschaffenheit)	entfällt
	Grundwasseralter und -herkunft	Isotopenmessungen

Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 3



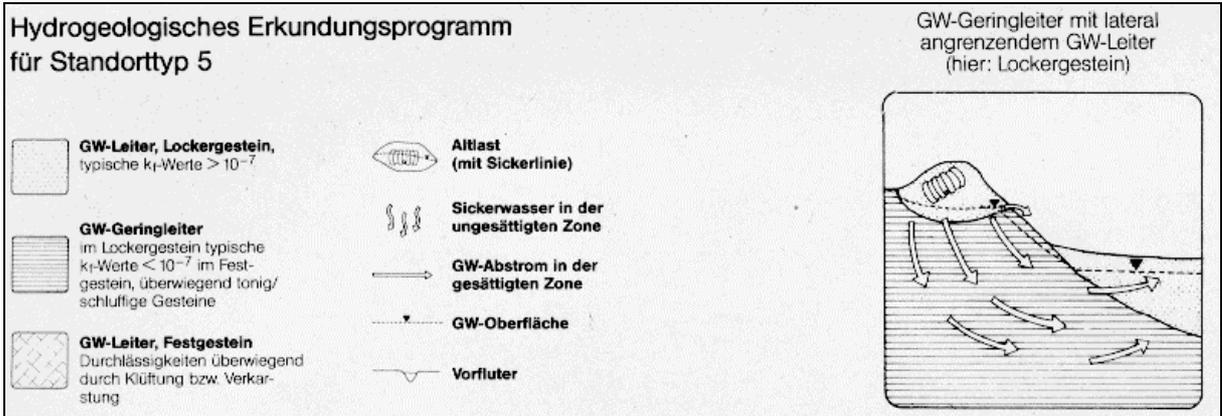
Risikobereiche	Zu ermittelnde Gegebenheiten oder Größen	Methoden
II. Schadstoffeintrag	Tiefenlage des GW-Spiegels unter dem Gefahrenherd Durchlässigkeit der wassergesättigten Zone (häufig erhöhte Durchlässigkeit im oberflächennahen Bereich)	Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen (Hoch- und Tiefstände) Abschätzung nach Feldbeobachtungen an Baggerschürfen und Bohrungen (Trennflächchen, Verfärbungshorizonte)
III. Schadstofftransport und -wirkung	Mächtigkeit und Aufbau des GW-Geringleiters über dem zwischengelagerten GW-Leiter, Mächtigkeit und Aufbau des GW-Leiters Gebirgsdurchlässigkeit des GW-Geringleiters Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit des GW (soweit erfaßbar) Weitere schadstofftransportrelevante Parameter (eff. Hohlraumanteil, hydraulischer Gradient, Dispersivität) Gesteinschemische Eigenschaften des GW-Geringleiters und des GW-Leiters (Austauschkapazitäten, Sorptionseigenschaften Grundwasserbeschaffenheit	Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Pumptests, Slugtests, Packertests (Drillstem-Tests, WD-Tests mit niedrigem Druck, Doppelpacker u.ä.) Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen → Grundwassergleichenplan Verfolgen einer evtl. Kontamination mittels Bohrungen und Wasseranalysen; Markierungsversuche spezielle hydrogeologische Methoden spezielle Laboruntersuchungen Laboruntersuchung (chemisch, mikrobiologisch); vertikales Leitfähigkeitsprofil
IV. Grundwasserbedeutung	Ergiebigkeit des GW-Leiters Wasserqualität (Vorbelastung)	Isotopenmessungen Berechnung aus Daten der Tests; Abschätzung aus Einzugsgebietsgröße und GW-Spende Wasseranalyse aus GW-Meßstelle im GW-Oberstrom (Nullpegel)

Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 4



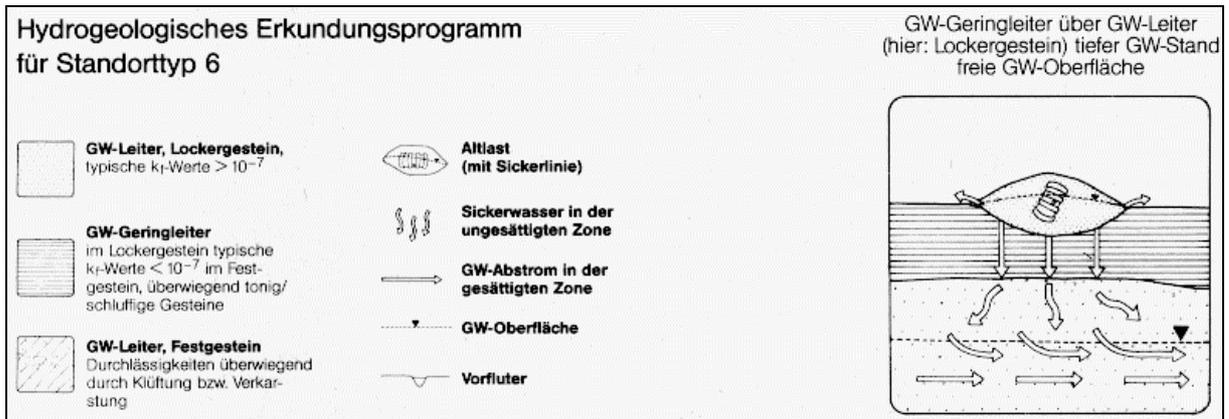
Risikobereiche	Zu ermittelnde Gegebenheiten oder Größen	Methoden
II. Schadstoffeintrag	entfällt (Gefahrenherd reicht ins GW hinein)	entfällt
III. Schadstofftransport und -wirkung	Mächtigkeit und Aufbau des GW-Leiters Mächtigkeit und Aufbau des GW-Geringleiters Gebirgsdurchlässigkeit des GW-Leiters Gebirgsdurchlässigkeit des GW-Geringleiters Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit im GW-Leiter Weitere schadstofftransportrelevante Parameter des GW-Leiters (eff. Hohlraumanteil, hydraulischer Gradient, Dispersivität) Gesteinschemische Eigenschaften des GW-Geringleiters und des GW-Leiters (Austauschkapazitäten, Sorptionseigenschaften, Bergwasserzutritte) Grundwasserbeschaffenheit	Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Pumptests, Slugtests, Packertests (Drillstem-Tests, WD-Tests mit niedrigem Druck, Doppelpacker u.ä.) Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen → Grundwassergleichenplan Verfolgen einer evtl. Kontamination mittels Bohrungen und Wasseranalysen; Markierungsversuche spezielle hydrogeologische Methoden spezielle Laboruntersuchungen Ermittlung über Sickerwassermengenberechnungen; Abschätzung aus Einzugsgebietsgröße und GW-Spende Laboruntersuchungen (chemisch, mikrobiologisch);
IV.. Grundwasserbedeutung	Ergiebigkeit des GW-Leiters Wasserqualität (Vorbelastung)	Berechnung aus Daten des Tests; Abschätzung aus Einzugsgebietsgröße und GW-Spende Wasseranalyse aus GW-Meßstelle im GW-Oberstrom (Nullpegel)

Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 5



Risikobereiche	Zu ermittelnde Gegebenheiten oder Größen	Methoden
II. Schadstoffeintrag	Tiefenlage des GW-Spiegels unter dem Gefahrenherd (soweit ein zusammenhängender GW-Spiegel vorhanden ist.) Durchlässigkeit der wassergesättigten Zone (häufig erhöhte Durchlässigkeit im oberflächennahen Bereich)	Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen (Hoch- und Tiefstände) Abschätzung nach Feldbeobachtungen an Baggerschürfen und Bohrungen (Trennflächchen, Verfärbungshorizonte)
III. Schadstofftransport und -wirkung	Mächtigkeit und Aufbau des GW-Geringleiters Gebirgsdurchlässigkeit des GW-Geringleiters Mögliche bevorzugte Fließwege (Klüftung, Störungen) Einlagerungen mit erhöhter Durchlässigkeit Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit im GW-Leiter (soweit erfaßbar) Gesteinschemische Eigenschaften (Austauschkapazitäten, Sorptionseigenschaften) Minimale Entfernung zwischen Gefahrenherd und lateralem GW-Leiter Mächtigkeit und Aufbau des lateralen GW-Leiters Gebirgsdurchlässigkeit des lateralen GW-Leiters Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit des GW im lateralen GW-Leiter Weitere schadstofftransportrelevante Parameter des GW-Leiters (eff. Hohlraumanteil, hydraulischer Gradient, Dispersivität) Gesteinschemische Eigenschaften (Austauschkapazitäten, Sorptionseigenschaften) Grundwasserbeschaffenheit	Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Pumptests, Slugtests, Packertests (Drillstem-Test, WD-Tests mit niedrigem Druck, Doppelpacker u.ä.) Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen → Grundwassergleichenplan (soweit zusammenhängender GW-Körper nachweisbar) spezielle Laboruntersuchungen Abschätzung bzw. Ausmessung Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Pumptests Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen → Grundwassergleichenplan Verfolgen einer evtl. Kontamination mittels Bohrungen und Wasseranalysen; Markierungsversuche spezielle hydrogeologische Methoden spezielle Laboruntersuchungen Laboruntersuchungen (chemisch, mikrobiologisch);
IV. Grundwasserbedeutung	Ergiebigkeit des GW-Leiters Wasserqualität (Vorbelastung)	Berechnung aus Pumpversuchsdaten; Abschätzung aus Einzugsgebietsgröße und GW-Spende Wasseranalyse aus GW-Meßstelle im GW-Oberstrom (Nullpegel)

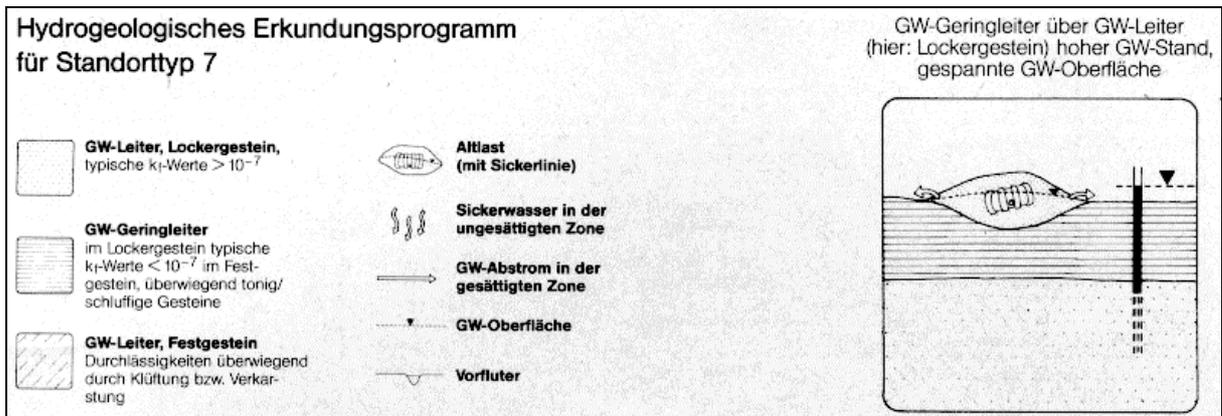
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 6



Risikobereiche	Zu ermittelnde Gegebenheiten oder Größen	Methoden
II. Schadstoffeintrag	Mächtigkeit und Aufbau des GW-Geringleiters unter des GW-Leiters (wasserungesättigte Zone) unter dem Gefahrenherd Gebirgsdurchlässigkeit des GW-Geringleiters und des GW-Leiters in der wasserungesättigten Zone Tiefenlage des GW-Spiegels unter dem Gefahrenherd	Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) u.U. ergänzt durch Geoelektrik und Mikroseismik Abschätzung nach Feldbeobachtungen an Baggerschürfen oder Bohrungen (Trennflächen, Verfärbungshorizonte) Wasserstandsmessung in GW-Meßstellen (Hoch- und Tiefstände)
III. Schadstofftransport und -wirkung	Mächtigkeit und Aufbau des GW-Leiters Gebirgsdurchlässigkeit des GW-Leiters Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit des GW Weitere schadstofftransportrelevante Parameter (eff. Hohlraumanteil, hydraulischer Gradient, Dispersivität) Gesteinschemische Eigenschaften (Austauschkapazitäten, Sorptionseigenschaften) Grundwasserbeschaffenheit	Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Pumptests Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen → Grundwassergleichenplan Verfolgen einer evtl. Kontamination mittels Bohrungen ¹⁾ und Wasseralysen; Markierungsversuche spezielle hydrogeologische Methoden spezielle Laboruntersuchungen Laboruntersuchungen (chemisch, mikrobiologisch); vertikales Leitfähigkeitsprofil
IV. Grundwasserbedeutung	Ergiebigkeit des GW-Leiters Wasserqualität (Vorbelastung)	Berechnung aus Pumpversuchsdaten ; Abschätzung aus Einzugsgebietsgröße und GW-Spende Wasseranalyse aus GW-Meßstelle im GW-Oberstrom (Nullpegel)

1) In Kluft- und Karstgrundwasserleitern mit extrem großen Flurabständen zu aufwendig und wenig erfolgversprechend

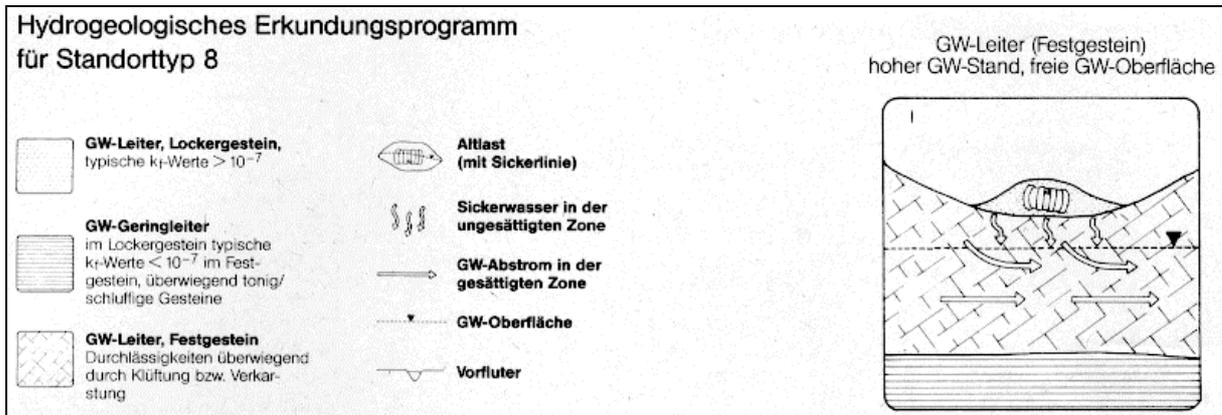
Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 7



Risikobereiche	Zu ermittelnde Gegebenheiten oder Größen	Methoden
II. Schadstoffeintrag	Mächtigkeit und Aufbau des GW-Geringleiters unter dem Gefahrenherd Tiefenlage des GW-Druckspiegels Gebirgsdurchlässigkeit des GW-Geringleiters in der wasserungesättigten Zone Diffuse Schadstoffausbreitung ¹⁾ im GW-Geringleiter	Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) u.U. ergänzt durch Geoelektrik und Mikroseismik Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen (Hoch- und Tiefstände) Abschätzung nach Feldbeobachtungen an Baggerschürfen oder Bohrungen (Trennfläche, Verfärbungshorizonte) Untersuchung von Boden- und GW-Proben aus dem Bereich unter dem Gefahrenherd auf Schadstoffgehalte
III. Schadstofftransport und -wirkung	Mächtigkeit und Aufbau des GW-Leiters Gebirgsdurchlässigkeit des GW-Leiters in der wassergesättigten Zone Gebirgsdurchlässigkeit des GW-Leiters Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit des GW Weitere schadstofftransportrelevante Parameter des GW-Leiters (eff. Hohlraumanteil, hydraulischer Gradient, Dispersivität) Gesteinschemische Eigenschaften (Austauschkapazitäten, Sorptionseigenschaften) Grundwasserbeschaffenheit	Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Pumptests, Slugtests, Packertests (Drillstem-Tests, WD-Tests mit niedrigem Druck, Doppelpacker u.ä.) Pumptests Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen → Grundwassergleichenplan Verfolgen einer evtl. Kontamination mittels Bohrungen ¹⁾ und Wasseranalysen; Markierungsversuche spezielle hydrogeologische Methoden spezielle Laboruntersuchungen
IV. Grundwasserbedeutung	Ergiebigkeit des GW-Leiters Wasserqualität (Vorbelastung)	Berechnung aus Pumpversuchsdaten; Abschätzung aus Einzugsgebietsgröße und GW-Spende Wasseranalyse aus GW-Meßstelle im GW-Oberstrom (Nullpegel)

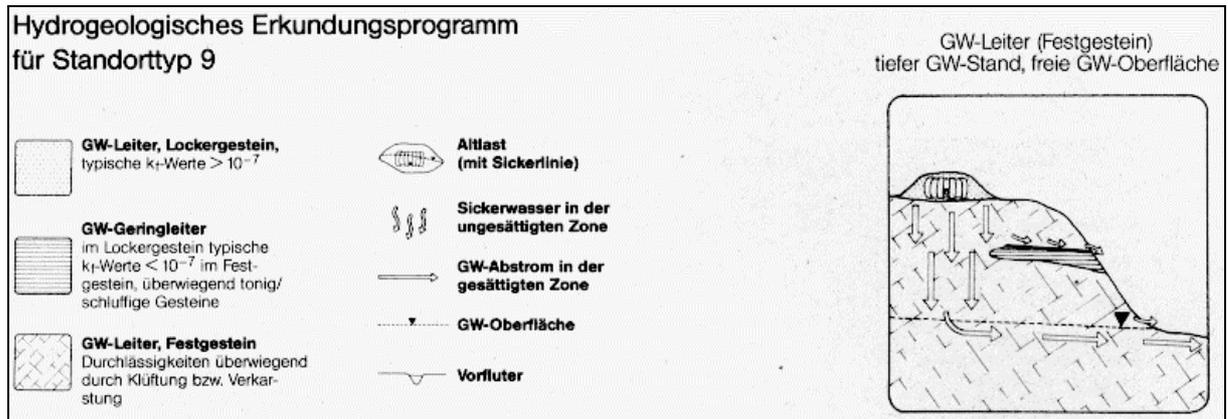
1) Neuere Forschungen haben gezeigt, daß bei einer Durchlässigkeit $< 10^{-8}$ der Schadstofftransport durch Diffusion dominiert gegenüber dem durch Konvektion. (Für einige Stoffe konnten Wanderwege von ca. 3 m in 12 Jahren nachgewiesen werden.)

Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 8



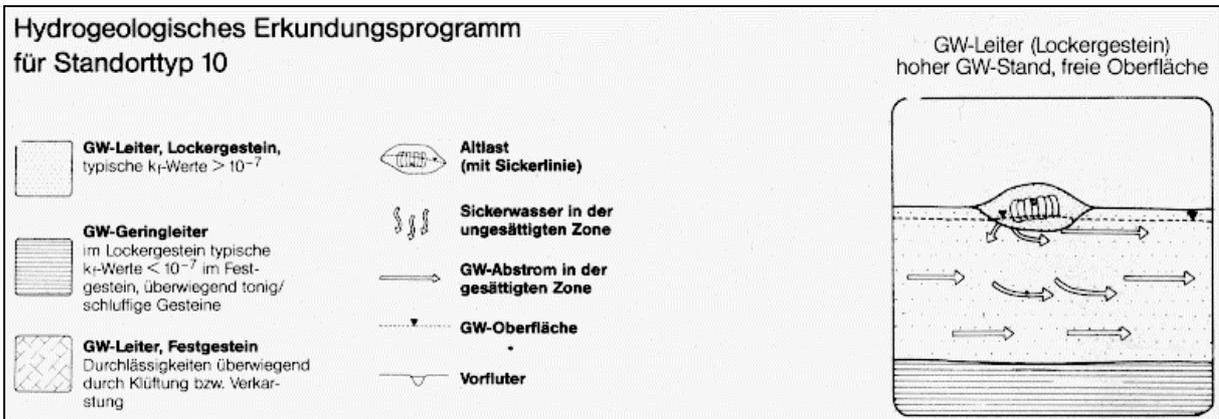
Risikobereiche	Zu ermittelnde Gegebenheiten oder Größen	Methoden
II. Schadstoffeintrag	Tiefenlage des freien GW-Spiegels unter dem Gefahrenherd Gebirgsdurchlässigkeit des Festgesteins in der wasserungesättigten Zone (Klüftung, Verkarstung)	Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen (Hoch- und Tiefstände) Abschätzung nach Feldbeobachtungen im Gelände und an Bohrungen
III. Schadstofftransport und -wirkung	Mächtigkeit und Aufbau des GW-Leiters Gebirgsdurchlässigkeit des GW-Leiters Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit des GW Weitere schadstofftransportrelevante Parameter des GW-Leiters (eff. Hohlraumanteil, hydraulischer Gradient, Dispersivität) Gesteinschemische Eigenschaften (Austauschkapazitäten, Sorptionseigenschaften) Grundwasserbeschaffenheit	Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Pumptests Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen → Grundwassergleichenplan Markierungsversuche; Untersuchungen von GW-Austritte auf evtl. Kontamination spezielle hydrogeologische Methoden spezielle Laboruntersuchungen Laboruntersuchung (chemisch, mikrobiologisch) ; vertikales Leitfähigkeitsprofil
IV. Grundwasserbedeutung	Ergiebigkeit des GW-Leiters Wasserqualität (Vorbelastung)	Berechnung aus Pumpversuchsdaten ; Abschätzung aus Einzugsgebietsgröße und GW-Spende Wasseranalyse aus GW-Meßstelle im GW-Oberstrom (Nullpegel)

Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 9



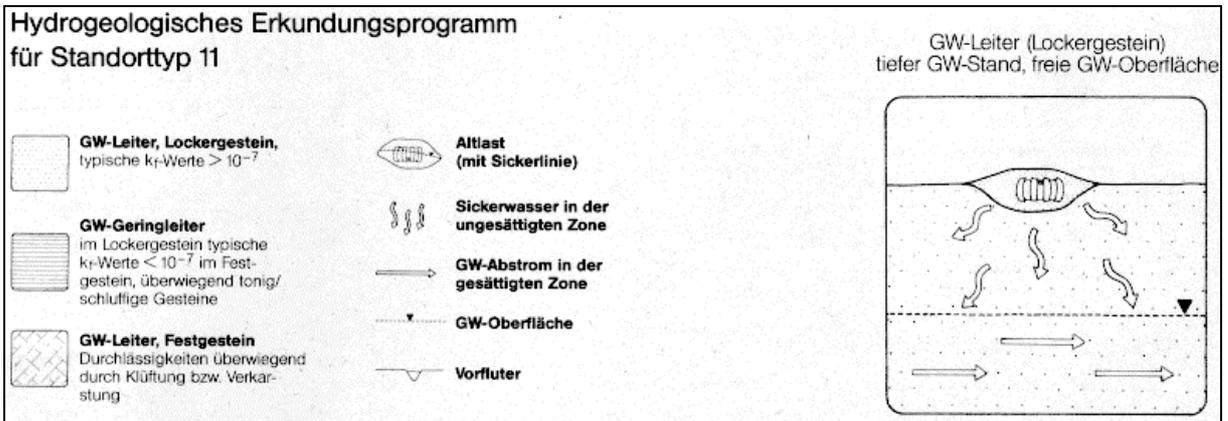
Risikobereiche	Zu ermittelnde Gegebenheiten oder Größen	Methoden
II. Schadstoffeintrag	Tiefenlage des freien GW-Spiegels unter dem Gefahrenherd Gebirgsdurchlässigkeit des Festgesteins in der wasserungesättigten Zone (Klüftung, Verkarstung)	Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen (Hoch- und Tiefstände) Abschätzung nach Feldbeobachtungen im Gelände und an Bohrungen
III. Schadstofftransport und -wirkung	Mächtigkeit und Aufbau des GW-Leiters Gebirgsdurchlässigkeit des GW-Leiters Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit des GW Weitere schadstofftransportrelevante Parameter des GW-Leiters (eff. Hohlraumanteil, hydraulischer Gradient, Dispersivität) Gesteinschemische Eigenschaften (Austauschkapazitäten, Sorptionseigenschaften) Grundwasserbeschaffenheit	Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Pumptests Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen → Grundwassergleichenplan Markierungsversuche; Untersuchungen von GW-Austritt auf evtl. Kontaminationen spezielle hydrogeologische Methoden spezielle Laboruntersuchungen Laboruntersuchung (chemisch, mikrobiologisch) ; vertikales Leitfähigkeitsprofil
IV. Grundwasserbedeutung	Ergiebigkeit des GW-Leiters Wasserqualität (Vorbelastung)	Berechnung aus Pumpversuchsdaten; Abschätzung aus Einzugsgebietsgröße und GW-Spende Wasseranalyse aus GW-Meßstelle im GW-Oberstrom (Nullpegel)

Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 10



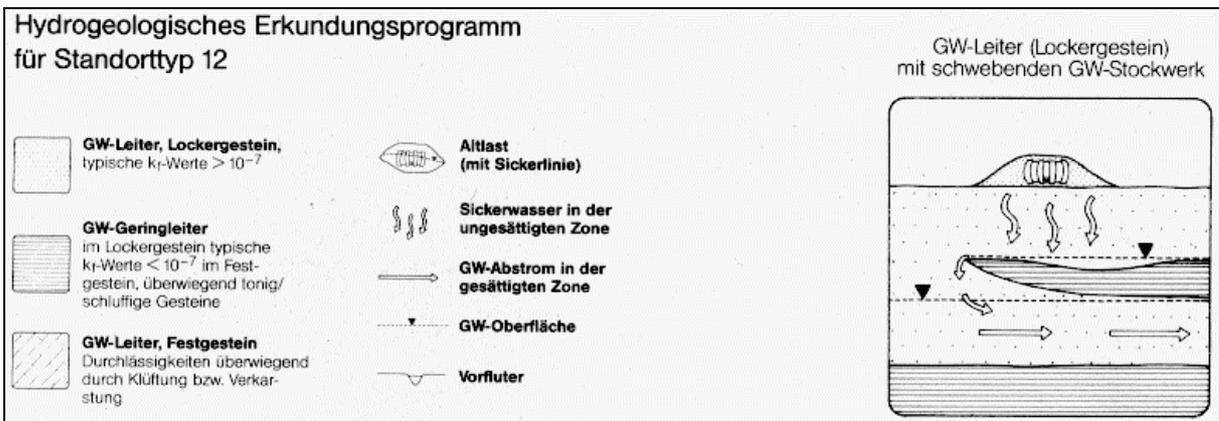
Risikobereiche	Zu ermittelnde Gegebenheiten oder Größen	Methoden
II. Schadstoffeintrag	entfällt (Gefahrenherd reicht ins GW hinein)	entfällt
III. Schadstofftransport und -wirkung	Mächtigkeit und Aufbau des GW-Leiters Durchlässigkeit des GW-Leiters Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit des GW Weitere schadstofftransportrelevante Parameter des GW-Leiters (eff. Hohlraumanteil, hydraulischer Gradient, Dispersivität) Gesteinschemische Eigenschaften (Austauschkapazitäten, Sorptionseigenschaften) Grundwasserbeschaffenheit	Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Pumptests Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen → Grundwassergleichenplan Verfolgen einer evtl. Kontamination mittels Bohrungen und Wasseranalysen; Markierungsversuche spezielle hydrogeologische Methoden spezielle Laboruntersuchungen Laboruntersuchung (chemisch, mikrobiologisch); vertikales Leitfähigkeitsprofil
IV. Grundwasserbedeutung	Ergiebigkeit des GW-Leiters Wasserqualität (Vorbelaugung)	Berechnung aus Pumpversuchsdaten; Abschätzung aus Einzugsgebietsgröße und GW-Spende Wasseranalyse aus GW-Meßstelle im GW-Oberstrom (Nullpegel)

Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 11



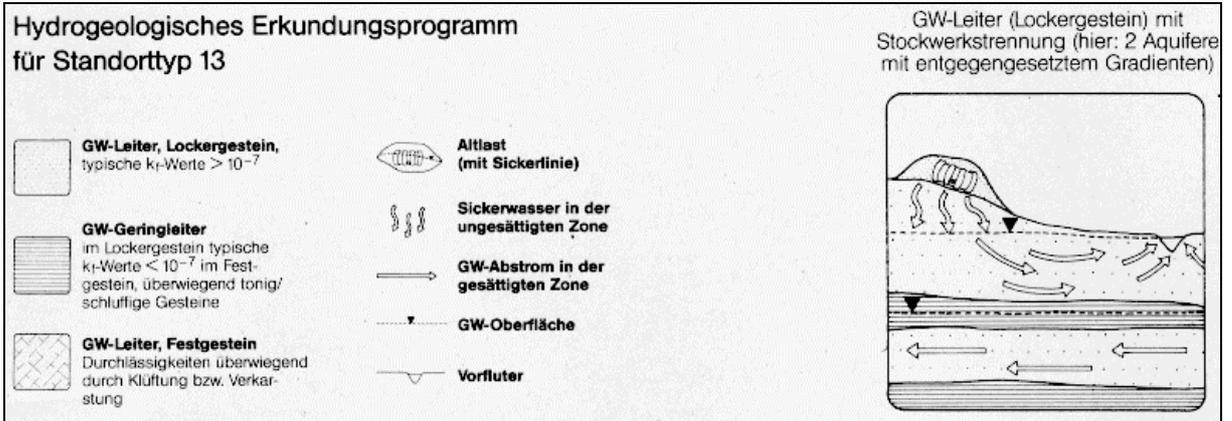
Risikobereiche	Zu ermittelnde Gegebenheiten oder Größen	Methoden
II. Schadstoffeintrag	Tiefenlage des freien GW-Spiegels unter dem Gefahrenherd Durchlässigkeit der wasserungesättigten Zone	Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen Abschätzung nach Feldbeobachtungen an Bohrungen; Laborbestimmungen an ungestörter Probe
III. Schadstofftransport	Mächtigkeit und Aufbau des GW-Leiters Durchlässigkeit des GW-Leiters Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit des GW Weitere schadstofftransportrelevante Parameter des GW-Leiters (eff. Hohlraumanteil, hydraulischer Gradient, Dispersivität) Gesteinschemische Eigenschaften (Austauschkapazitäten, Sorptionseigenschaften) Grundwasserbeschaffenheit	Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Pumptests Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen → Grundwassergleichenplan Verfolgen einer evtl. Kontamination mittels Bohrungen und Wasseranalysen; Markierungsversuche spezielle hydrogeologische Methoden spezielle Laboruntersuchungen Laboruntersuchung (chemisch, mikrobiologisch); vertikales Leitfähigkeitsprofil
IV. Grundwasserbedeutung	Ergiebigkeit des GW-Leiters Wasserqualität (Vorbelastung)	Berechnung aus Pumpversuchsdaten; Abschätzung aus Einzugsgebietsgröße und GW-Spende Wasseranalyse aus GW-Meßstelle im GW-Oberstrom (Nullpegel)

Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 12



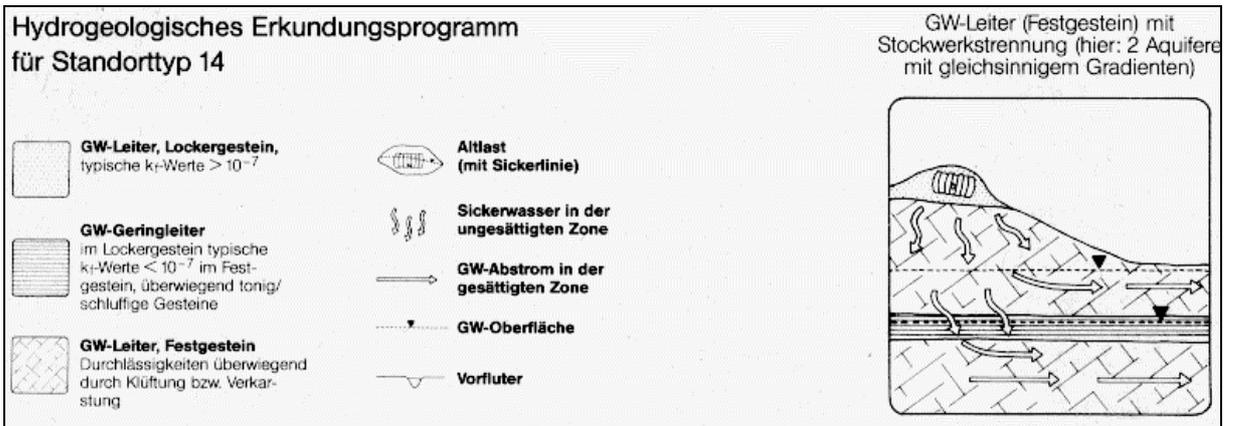
Risikobereiche	Zu ermittelnde Gegebenheiten oder Größen	Methoden
II. Schadstoffeintrag	Tiefenlage des freien GW-Spiegels unter dem Gefahrenherd Durchlässigkeit der wasserungesättigten Zone	Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen Abschätzung nach Feldbeobachtungen an Baggerschürfen oder Bohrungen; Laborbestimmungen an ungestörter Probe
III. Schadstofftransport und -wirkung	Ausdehnung des schwebenden GW-Stockwerks Durchlässigkeit des tiefen GW-Leiters Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit des GW in beiden GW-Stockwerken Weitere schadstofftransportrelevante Parameter des GW-Leiters (eff. Hohlraumanteil, hydraulischer Gradient, Dispersivität) Gesteinschemische Eigenschaften (Austauschkapazitäten, Sorptionseigenschaften) Grundwasserbeschaffenheit in beiden GW-Stockwerken	Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Pumptests Wasserstandsmessungen in Doppel-GW Meßstellen →Grundwassergleichenpläne Verfolgen einer evtl. Kontamination mittels Bohrungen und Wasseranalysen; Markierungsversuche spezielle hydrogeologische Methoden spezielle Laboruntersuchungen Laboruntersuchung (chemisch, mikrobiologisch); vertikales Leitfähigkeitsprofil
IV. Grundwasserbedeutung	Ergiebigkeit des GW-Leiters Wasserqualität	Berechnung aus Pumpversuchsdaten; Abschätzung aus Einzugsgebietsgröße und GW-Spende Wasseranalyse aus GW-Meßstellen im GW-Oberstrom (Nullpegel)

Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 13



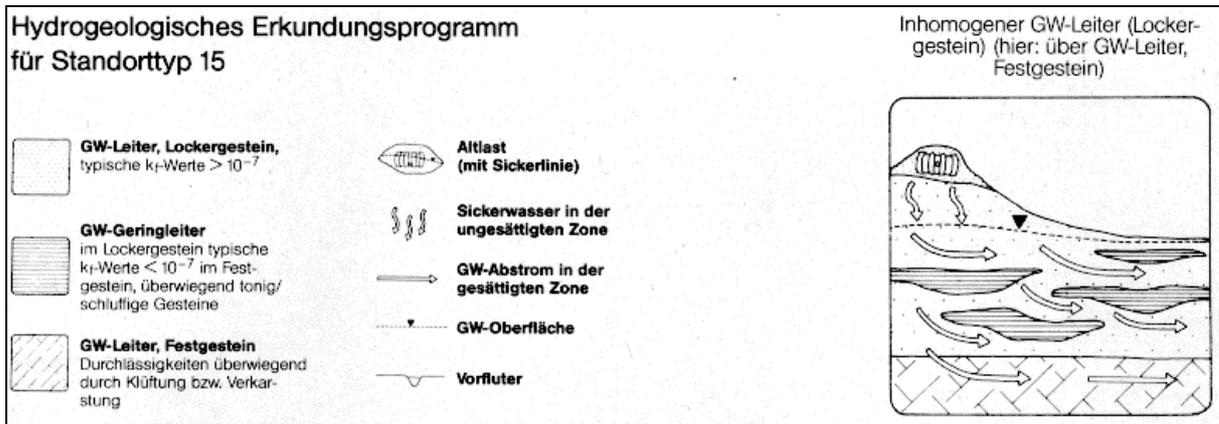
Risikobereiche	Zu ermittelnde Gegebenheiten oder Größen	Methoden
II. Schadstoffeintrag	Tiefenlage des freien GW-Spiegels unter dem Gefahrenherd Durchlässigkeit der wasserungesättigten Zone	Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen (Hoch- und Tiefstände) Abschätzung nach Feldbeobachtungen an Baggerschürfen oder Bohrungen;
III. Schadstofftransport und -wirkung	Mächtigkeit und Aufbau des oberflächennahen Aquifers Gebirgsdurchlässigkeit des oberflächennahen Aquifers Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit des GW im oberflächennahen Aquifer Mächtigkeit und Aufbau der Trennschicht Gebirgsdurchlässigkeit der Trennschicht Mächtigkeit und Aufbau des darunterliegenden Aquifers Gebirgsdurchlässigkeit des darunterliegenden Aquifers Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit des GW im unteren Aquifer Weitere schadstofftransportrelevante Parameter der beiden Aquifere (eff. Hohlraumanteil, hydraulischer Gradient, Dispersivität) Gesteinschemische Eigenschaften der beiden Aquifere und der Trennschicht (Austauschkapazitäten, Sorptionseigenschaften) Grundwasserbeschaffenheit im oberen und unteren Aquifer	Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Pumptests Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen → Grundwassergleichenpläne Verfolgen einer evtl. Kontamination mittels Bohrungen und Wasseranalysen ; Markierungsversuche Bohrungen (mit Bohrlochdurchmesser) Pumptests im darunterliegenden Aquifer (Bestimmung der Leakage - Rate) Bohrungen (mit Bohrlochdurchmesser) Pumptests Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen → Grundwassergleichenpläne Verfolgen einer evtl. Kontamination mittels Bohrungen und Wasseranalysen; Markierungsversuche spezielle hydrogeologische Methoden spezielle Laboruntersuchungen Laboruntersuchung (chemisch, mikrobiologisch); vertikales Leitfähigkeitsprofil
IV. Grundwasserbedeutung	Ergiebigkeit und Wasserqualität (Vorbelastung) des oberen Aquifers Ergiebigkeit und Wasserqualität (Vorbelastung) des unteren Aquifers	Berechnung aus Pumpversuchen; Abschätzung aus der jeweiligen Einzugsgebietsgröße und GW-Spende Wasseranalyse aus jeweils im GW-Oberstrom gelegenen GW-Meßstellen (Nullpegel)

Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 14



Risikobereiche	Zu ermittelnde Gegebenheiten oder Größen	Methoden
II. Schadstoffeintrag	Tiefenlage des freien GW-Spiegels unter dem Gefahrenherd Durchlässigkeit der wasserungesättigten Zone	Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen Abschätzung nach Feldbeobachtungen im Gelände und an Bohrungen
III. Schadstofftransport und -wirkung	Mächtigkeit und Aufbau des oberflächennahen Aquifers Gebirgsdurchlässigkeit des oberflächennahen Aquifers Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit des GW im oberflächennahen Aquifer Mächtigkeit und Aufbau der Trennschicht Gebirgsdurchlässigkeit der Trennschicht Mächtigkeit und Aufbau des darunterliegenden Aquifers Gebirgsdurchlässigkeit des darunterliegenden Aquifers Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit des GW im unteren Aquifer Weitere schadstofftransportrelevante Parameter der beiden Aquifere (eff. Hohlraumanteil, hydraulischer Gradient, Dispersivität) Gesteinschemische Eigenschaften der beiden Aquifere und der Trennschicht (Austauschkapazitäten, Sorptionseigenschaften) Grundwasserbeschaffenheit im oberen und unteren Aquifer	Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Pumptests Wasserstandsmessungen in Doppel-GW Meßstellen → Grundwassergleichenpläne Verfolgen einer evtl. Kontamination mittels Bohrungen und Wasseranalysen ; Markierungsversuche Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Pumptests im darunterliegenden Aquifer (Bestimmung der Leakage-Rate) Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Pumptests Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen → Grundwassergleichenplan Verfolgen einer evtl. Kontamination mittels Bohrungen und Wasseranalysen; Markierungsversuche spezielle hydrogeologische Methoden spezielle Laboruntersuchungen Laboruntersuchung (chemisch, mikrobiologisch); vertikales Leitfähigkeitsprofil
IV. Grundwasserbedeutung	Ergiebigkeit und Wasserqualität (Vorbelastung) des oberen Aquifers Ergiebigkeit und Wasserqualität (Vorbelastung) des unteren Aquifers	Berechnung aus Pumpversuchsdaten; Abschätzung aus der jeweiligen Einzugsgebietsgröße und GW-Spende Wasseranalyse aus jeweils GW-Oberstrom gelegenen GW-Meßstellen (Nullpegel)

Hydrogeologisches Erkundungsprogramm für Standorttyp 15



Risikobereiche	Zu ermittelnde Gegebenheiten oder Größen	Methoden
II. Schadstoffeintrag	Tiefenlage des freien GW-Spiegels unter dem Gefahrenherd Durchlässigkeit der wasserungesättigten Zone	Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen Abschätzung nach Feldbeobachtungen an Baggerschürfen oder Bohrungen;
III. Schadstofftransport und -wirkung	Mächtigkeit und Aufbau der grundwasserleitenden Schichtenfolge, Abgrenzung der Inhomogenitäten Gebirgsdurchlässigkeit des GW-Leiters Strömungsrichtung und Strömungsgeschwindigkeit des GW Weitere schadstofftransportrelevante Parameter der grundwasserleitenden Schichtenfolge (eff. Hohlraumanteil, hydraulischer Gradient, Dispersivität) Gesteinschemische Eigenschaften (Austauschkapazitäten, Sorptionseigenschaften) Mächtigkeit und Aufbau des liegenden GW-Geringleiters Gebirgsdurchlässigkeit des liegenden GW-Geringleiters	Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Pumptests Wasserstandsmessungen in GW-Meßstellen → Grundwassergleichenpläne Verfolgen einer evtl. Kontamination mittels Bohrungen und Wasseranalysen; Markierungsversuche spezielle hydrogeologische Methoden spezielle Laboruntersuchungen Bohrungen (mit Bohrlochmessungen) Abschätzung
IV. Grundwasserbedeutung	Ergiebigkeit der grundwasserleitenden Schichtenfolge Wasserqualität (Vorbelastung)	Berechnung aus Pumpversuchsdaten; Abschätzung aus Einzugsgebietsgröße und GW-Spende Wasseranalyse aus GW-Oberstrom im GW-Oberstrom (Nullpegel)

Anlage 2

Tab. 0 Sicherungs- und Sanierungstechniken zur Verringerung der Stoffgefährlichkeit am Standort

Verfahrensgruppe	Nr.	Verfahren/ Maßnahmen	Schadstoffbeispiele	Kurzbeschreibung	Bewertung, mögliche Nebeneffekte und Folgeprobleme	Entwicklungsstand	Zeitverhalten/ Kostenrahmen
Verfahren mit Materialentnahme	0 - 1	Separierung	alle Arten	Klassieren im Trocken- oder Naßverfahren zur Mengenreduzierung des kontaminierten Bodens (Trennung i.d.R. schwach kontaminierten Grobkorns von stark kontaminiertem Feinkorn)	weitere Behandlung des kontaminierten Teils; Arbeitsschutz (Staub, Geruch) erforderlich	erprobt	sofort und auf Dauer wirksam 20 – DM pro Tonne
	0 - 2	Abtransport und Endlagerung	alle Arten	Entnahme und Abtransport des Materials; evtl. Separierung und Transportkonditionierung erforderlich	Arbeitsschutz aufwendig; Schädigung inaktiver Gebinde; Gefährdung durch Aushubarbeiten u. Transportverkehr; Problemverlagerung; Schadstoffmobilisierung; gute Kontrollierbarkeit	erprobt	sofort und auf Dauer wirksam 150 – 1.000 DM pro Tonne
	0 - 3	Thermische Behandlung a) Ausdampfen b) Ausglühen	flüchtige organische Verbindungen organische Verbindungen	Thermische Behandlung der Abfälle in geschlossenen Anlagen bei $T \leq 300 \text{ °C}$ $T = 500 - 1500 \text{ °C}$	Abluft; Korrosionsprobleme bei halogenhaltigen Substanzen; gute Kontrollierbarkeit; optimale Prozedurführung möglich.	erprobt	sofort und auf Dauer wirksam a) 100 – 250 DM pro Tonne b) 250 – 1500 DM pro Tonne
	0 - 4	Extraktion	Mineralöl, PCB, Teer-Kohlenwasserstoffe, Cyanide, Schwermetalle	Mehrmaliges Waschen des verunreinigten Bodens mit Säuren, Basen oder organischen Extraktionsmitteln beispielsweise in Mixer/Settler-Anlagen; Trennung von Waschlöslichkeit und Festmaterial (z.B. in Hydrozyklonen)	Abwasserbehandlung mit Schlammfällung; gute Kontrollierbarkeit	erprobt	sofort und auf Dauer wirksam 100 – 350 DM pro Tonne
	0 - 5	mikrobiologische Behandlung	Organische abbaubare Verbindungen, z.B. Mineralöl, Phenole, Benzol	Biologischer Abbau nach Ausbringen auf geeignete Flächen oder in Behältern; evtl. Impfen mit adaptierten Bakterienkulturen; pH-Einstellung und Zugabe von Nährstofflösungen; Belüftung	Abbauprodukte u. U. problematisch; Geruchsbeeinträchtigungen	erprobt für Mineralöl	sehr langsame Vorgänge; auf Dauer wirksam 50 – 150 DM pro Tonne
	0 - 6	Verfestigung	Mineralöl- und/oder schwermetallhaltiges homogenes u. feinkörniges salzhaltiges Material	Vermischen mit Reaktionsmitteln (Zement, Wasserglas, Puzzolanen, Kalk, Kunstharze) zur Fixierung der Problemstoffe	Verbesserung der physikalischen Eigenschaften; Ausgasen leicht flüchtiger Stoffe	teilweise erprobt	Langzeitverhalten noch nicht geklärt (Auslaugbarkeit) ab 150 DM pro Tonne
	0 - 7	Chemische Behandlung	Schwermetalle, Cyanide	Intensive Vermischung des Bodens mit Chemikalien zur chemischen Umwandlung (Oxidation, Reduktion, Neutralisation) der Schadstoffe	Gute Erfolgskontrolle; Bodenbiologie kann u.U. negativ beeinflusst werden.	teilweise erprobt	sofort und auf Dauer wirksam 20 – 200 DM pro Tonne

Tab. 0: Sicherungs- und Sanierungstechniken zur Verringerung der Stoffgefährlichkeit am Standort (Fortsetzung)

Verfahrensgruppe	Nr.	Verfahren/ Maßnahmen	Schadstoffbeispiele	Kurzbeschreibung	Bewertung, mögliche Nebeneffekte und Folgeprobleme	Entwicklungsstand	Zeitverhalten/ Kostenrahmen	
Verfahren ohne Materialentnahme (in-situ-Behandlung)	0 - 8	thermische Behandlung	niedrig siedende Kohlenwasserstoffe, CKW	durch Einblasen von Heißdampf/Heißluft erfolgt eine Mobilisierung und Verdampfung der Schadstoffe; Abpumpen oder Absaugen der mobilisierten Schadstoffe	Unkontrollierte Auspüleffekte durch kondensierten Dampf; große Mengen Dampf erforderlich; schlechte Kontrollmöglichkeit. Schwerflüchtige Begleitschadstoffe nicht erfaßt	in Erprobung	sofort und auf Dauer wirksam	
	0 - 9	Ausgasungsmaßnahmen	niedrig siedende Kohlenwasserstoffe, CKW	Absaugen der Schadstoffe über Bodenluft; u.U. Abdeckung der Oberfläche	Effektivität abhängig von Grundwasserflurabstand und Porenstruktur des Bodens; Abluftreinigung; auch bei bebauten Flächen anwendbar; Kanalbildung	erprobt	länger dauerndes Verfahren; auf Dauer wirksam	
	0 - 10	mikrobiologische Behandlung	Mineralöl, Phenole, CKW, Benzol u.a. abbaubare Stoffe	biologische Umwandlung der Schadstoffe in der Ablagerungszone durch Schaftung geeigneter Milieubedingungen z.B. durch Wasserzirkulation, Zudosierung von Nährstoffen, Belüftung	Abbauprodukte z. T. problematisch; Kontrolle nur bedingt möglich; nur bei günstigen Konzentrationsverhältnissen möglich	bei Mineralöl erprobt	u.U. sehr langsam ablaufende Reaktionen und auf Dauer wirksam	
	0 - 11	chemische Behandlung	Schwermetalle, Pestizide, Cyanide, Fluoride	Einbringen von Chemikalien zur chemischen Behandlung (Oxidation, Reduktion, Neutralisation) der Schadstoffe	Beeinflussung biologischer Abbauprozesse, Remobilisierung persistenter Stoffe durch pH-Änderung; Erfolgskontrolle nur bedingt möglich	in Erprobung	Langzeitverhalten in der Regel nicht geklärt	
	0 - 12	gezielte Durchspülung	Mineralöl, CKW, Salze (z.B. Chromat)	Auspülen der Schadstoffe mit Wasser; Reinigen des wieder entnommenen Wassers (Kreislauführung)	Nur bei günstigen hydrogeologischen Verhältnissen anwendbar, z. T. schlechte Kontrollierbarkeit	erprobt	länger dauerndes Verfahren; auf Dauer wirksam	
	0 - 13	Immobilisierung	alle festen Stoffe	Einpressen von Injektionsmitteln unterschiedlicher Konsistenz, die die Schadstoffe umschließen und eine Abwanderung verhindern.	schlechte Kontrollmöglichkeit	erprobt	Langzeitverhalten ungeklärt	

Tab. I Sicherungs- und Sanierungstechniken zur Verringerung des Schadstoffeintrages

Verfahrensgruppe	Nr.	Verfahren/ Maßnahmen	Schadstoffbeispiele	Kurzbeschreibung	Bewertung, mögliche Nebeneffekte und Folgeprobleme	Entwicklungsstand	Zeitverhalten/ Kostenrahmen
Reduzierung des Wasserzutritts	I - 1	Oberflächenabdichtung	alle Arten	oberflächige Abdichtung zur Verminderung bzw. Verhinderung der Niederschlagswasserinfiltration (mehrschichtiger Aufbau mit mineralischer und/oder Folienabdichtung in einfacher oder doppelter Ausführung)	Behinderung von biochemischen Umsatzvorgängen, die vom Wasserzufluß abhängig sind; Schadstoffpotential bleibt weitgehend unverändert; Gasstau mit Austritt in Umgebung	erprobt	sofort und mittelfristig wirksam 100 – 150,- DM pro m ³
	I - 2	Schichtwasserfassung bei Hanglagen	alle Arten	hangseitige Fassung von Schichtwasser durch Brunnen oder Drainagegräben; Abhalten durch Dichtwände (z.B. Spund-, Schlitzwände)	durch Absenken des Grundwasserspiegels bedingte Schäden wie Gebäudesenkungen, Trockenschäden bei Bäumen; Betriebskosten bei Pumpen; Schadstoffpotential bleibt weitgehend unverändert	erprobt	
	I - 3	Oberflächenwasserableitung	alle Arten	durch Wälle, Gräben oder Oberflächengestaltung wird der Zufluß von Oberflächenwasser zum kontaminierten Bereich verhindert; Ableitungssysteme müssen dicht und pflegeleicht sein	Pflege des Systems; Schadstoffpotential bleibt weitgehend unverändert	erprobt	sofort und dauerhaft wirksam
Reduzierung des Sickerwasserdrucks auf die Deponiesohle	I - 4	Bepflanzung	alle Arten	Verbesserung der Böschungsstabilität, Erosionsverminderung, Verminderung der Oberflächenwasserinfiltration, Erhöhung der Evapotranspiration	Zerstörung von Dichtungsschichten durch Tierwurzler; keine hohen Bäume (Windwurfgefahr)	erprobt	mittelfristig wirksam
	I - 5	Sohldrainage	alle Arten	Drainage mit Sickerwasserableitung über einer dichten (natürlichen oder künstlichen) Sohle	Sickerwasserentsorgung; Gefahr der Verletzung von Schließabdichtungen; Setzungen; Arbeitsschutz	erprobt	sofort und auf Dauer wirksam
	I - 6	Vertikal- oder Horizontalbrunnen	alle Arten	Sammlung und Ableitung des Sickerwassers innerhalb des kontaminierten Bereichs	Sickerwasserentsorgung; Setzungen	erprobt	sofort und auf Dauer wirksam
Verhinderung des direkten Auslaugens durch Grundwasser	I - 7	Grundwasserabsenkung	alle Arten	über Brunnen oder Drainagen wird der Grundwasserspiegel soweit abgesenkt, daß der Deponiekörper in der ungesättigten Zone liegt	meist nur vorübergehende Lösung zur schnellen Gefahrenabwehr; laufende Kosten durch Pumpbetrieb und Wartung; Gebäudesenkungen, Trockenschäden bei Bäumen; Vorflutbeschaffung	erprobt	sofort wirksam
	I - 8	Umschließung	alle Arten	Umschließung mit Dichtwänden bis zu einer natürlichen oder künstlichen dichten Horizontalschicht; Systeme: Spund-, Schlitz-, Injektionswände; einfache Wände, Doppelwandsystem mit Kammern; durch Pumpen wird ein hydraulisches Druckgefälle erzeugt	laufende Kosten durch Pumpbetrieb und Wartung; Wasserbehandlung; Vorflutbeschaffung; Permeationsverhalten; Hindernis im Grundwasserleiter	erprobt	Langzeitverhalten schadstoffresistenter Baustoffe ungeklärt. sofort wirksam 100 – 500,- DM pro m ³

Tab. I Sicherungs- und Sanierungstechniken zur Verringerung des Schadstoffaustrages (Fortsetzung)

Verfahrensgruppe	Nr.	Verfahren/ Maßnahmen	Schadstoffbeispiele	Kurzbeschreibung	Bewertung, mögliche Nebeneffekte und Folgeprobleme	Entwicklungsstand	Zeitverhalten/ Kostenrahmen	
Sonstige Maßnahmen	I - 9	Fassung von Sickerwässeraustritten	alle Arten	bei Hanglagen wird talseitig austretendes Sickerwasser direkt oder über Drainagegräben gefaßt, gesammelt und abgeleitet	Sickerwasserentsorgung	erprobt	sofort und auf Dauer wirksam	
	I - 10	Sohlabdichtung	alle Arten	Herstellung künstlicher Dichtungsschichten mit geeigneten, vom Bodentyp abhängigen Materialien unterschiedlicher Konsistenz (Lösungen, Emulsionen, Suspensionen, Pasten auf Bentonit- oder Zementbasis; Hart- und Weichgele aus Silikaten); Injektionstechnik	nur sinnvoll bei Wannenausbildung und ständiger Sickerwasserbesetzung; Ablagerung muß perforiert werden; Dichtungsmittel können ausgelaugt werden; Dichtigkeit nur schwer zu überprüfen	im Bauwesen erprobt	Langzeitverhalten schadstoffresistenter Baustoffe ungeklärt. 600 - 800,- DM pro m ² injizierter Boden (30 m Tiefe)	
	I - 11	Entgasung	Meihan, Kohlendioxid und Begleitgase	Gasfassung über Brunnensonden und Ableitung zur Verminderung bzw. Verhinderung der Gasausbreitung; nur aktive Entgasung wirkungsvoll	Behandlung gefaßter Gase erforderlich; Betriebskosten	erprobt	sofort und auf Dauer wirksam	
	I - 12	Verbesserung der Standsicherheit	alle Arten	Stützbauwerke, Profilierung, Entwässerung, Injektion	zusätzlicher Platzbedarf	erprobt	sofort und mittelfristig wirksam	
	I - 13	Zugangs- und Nutzungsbeschränkung	alle Arten	Einzäunung; Beschränkung der Nutzung; keine Grabarbeiten		erprobt		
	I - 14	Abdeckung	alle Arten	Verhinderung des direkten Kontakts und gegen Verwehungen		erprobt		
	I - 15	Emissionsschutzbepflanzung		Hecken-, Busch- und Baumbepflanzung zur Verhinderung von Staubemissionen (Filterwälder)		erprobt		

Tab. II Sicherungs- und Sanierungstechniken zur Verringerung des Schadstoffeintrages

Verfahrensgruppe	Nr.	Verfahren/ Maßnahmen	Schadstoffbeispiele	Kurzbeschreibung	Bewertung, mögliche Nebeneffekte und Folgeprobleme	Entwicklungsstand	Zeitverhalten/ Kostenrahmen
	II - 1	Bodenluftabsaugung	Deponiegas, flüchtige Stoffe (CKW, AKW, Benzin)	Entfernung leicht flüchtiger Verunreinigungen durch Absaugen der Bodenluft; Einblasen von Luft zur Unterstützung möglich	Abluftreinigung; bebauten Flächen können dekontaminiert werden; ton- und lehmhaltige Einlagerungen können nicht gereinigt werden	teilweise erprobt	auf Dauer wirksam
	II - 2	Steuerung der Mikrobiologie im ungesättigten Bereich	Mineralöl, Phenole, Benzol u.a. abbaubare Stoffe	Beeinflussung der Milieubedingungen zur Verbesserung der mikrobiologischen Tätigkeit, evtl. Animpfen	Abbauprodukte sind möglicherweise auch Schadstoffe; schwierige Kontrolle	nicht erprobt	mittelfristig wirksam
	II - 3	Grundwasserabsenkung	Mineralöl, Phenole, flüchtige Stoffe	Erweiterung der ungesättigten Zone und Verstärkung der dort ablaufenden physikalischen oder mikrobiologischen Prozesse	Stofftransport wird auf ein vom Boden verkräftbares Maß reduziert; durch Grundwasserabsenkung bedingte Schäden wie Gebäudesenkungen; Trockenschäden bei Bäumen möglich	nicht erprobt	mittelfristig wirksam
	II - 4	Gasbarriere	Deponiegas, flüchtige Stoffe	Vertikale Sperrschichten, meist Kombination aus gut gasdurchlässigem Drainagematerial und gassperrenden Folien, verhindern das horizontale Ausbreiten von Deponiegas in das Umland	Verstärkung des Effekts durch Absaugen des Gases; gefäßtes Gas muß i.d.R. weiterbehandelt werden; Wartung des Systems	erprobt	

Tab. III Sicherungs- und Sanierungstechniken zur Verringerung des Schadstofftransportes und der -wirkung

Verfahrensgruppe	Nr.	Verfahren/ Maßnahmen	Schadstoffbeispiele	Kurzbeschreibung	Bewertung, mögliche Nebeneffekte und Folgeprobleme	Entwicklungsstand	Zeitverhalten/ Kostengerahmen
	III - 1	Steuerung der mikrobiellen Vorgänge im Grundwasser	Mineralöl, CKW, AKW, Benzol, Cyalinde usw.	a) Abpumpen des Grundwassers unterhalb der Verunreinigung; Belüftung und Anreicherung mit Nährstoffen; Infiltration oberhalb der Kontamination; Schaffung eines Wasserkreislaufes b) Einbringen von Sauerstoff ins Grundwasser zur Schaffung besserer Lebensbedingungen für die Mikrobiologie c) gezielte Schaffung von anaeroben Verhältnissen zum Abbau von CKW	Steuerung und Kontrolle aufwendig; Gefahr der Überdosierung Verockerungsgefahr; chemische Oxidation der Wasserinhaltsstoffe weitere Behandlung der Abbauprodukte im aeroben Bereich	a) wenig erprobt b) wenig erprobt c) nicht erprobt	mittelfristig und auf Dauer wirksam
	III - 2	Belüftung des Grundwassers	leichtflüchtige Stoffe, z.B. CKW, Benzin	Einblasen von Luft zum unterirdischen Strippen von leichtflüchtigen Verbindungen	Bodenluftabsaugung, Abluftreinigung; vom Bodentyp abhängig; Kontrolle schwierig; Verockerungsgefahr	in Erprobung	sofort wirksam
	III - 3	Grundwasserreinigung	alle Arten	Abpumpen kontaminierten Grundwassers, Entfernung der Schadstoffe durch geeignete Verfahren (z.B. Fällung, Flockung, Strippen, Filtration) und Infiltration des gereinigten Wassers über Schluckbrunnen oder Abgabe in Vorfluter	Abwasser- und Schlammentsorgung; auf Dauer hohe Betriebskosten; Grenzwertproblematik bei Wiedereinleitung	erprobt	sofort und auf Dauer wirksam
	III - 4	Filterbarriere	Adsorbierbare Stoffe	Grundwasser durchströmt unterhalb des Kontaminationsherdes eine Filtermasse, bestehend z.B. aus Kalkstein, Aktivkohle oder Ionenaustauschern	Regeneration oder Beseitigung der Filtermasse; nur geeignet für flache Grundwasserleiter; Standortverhalten nur schwer zu ermitteln	wenig erprobt	mittelfristig wirksam
	III - 5	Oberflächenwasserbelüftung	biologisch abbaubare Verbindungen	Einbringen von Sauerstoff zur Erhöhung der Selbstreinigungskraft			
	III - 6	Mechanische Oberflächenwasserreinigung	Mineralöl, Teerprodukte	Entfernung von Schadstoffen über Abscheidersysteme bedingt durch unterschiedliche spezifische Gewichte	Wartung; Beseitigung der Rückstände	erprobt	sofort und auf Dauer wirksam

Tab. IV Sicherungs- und Sanierungstechniken zur Verringerung von Gefahren im Bereich von Nutzungen

Verfahrensgruppe	Nr.	Verfahren/ Maßnahmen	Schadstoffbeispiele	Kurzbeschreibung	Bewertung, mögliche Nebeneffekte und Folgeprobleme	Entwicklungsstand	Zeitverhalten/ Kostenrahmen
Trinkwasseraufbereitungsverfahren	IV - 1	Umlenkung des Grundwasserstroms	alle Arten	durch Variation der Pumpleistung und Standorte der Entnahme- oder Schluckbrunnen und durch Leitelinrichtungen verändert eine Schadstoffaufnahme ihre Fließrichtung	Grundwasserschwankungen können die Wirkung beeinflussen, hohe Betriebskosten; Gefährdungspotential bleibt weitgehend unverändert	erprobt	keine dauerhafte Wirksamkeit
	IV - 2	Warmpiegel	alle Arten	im Vorfeld der Wasserversorgung werden Warmpiegel installiert, die mit Sicherungs- und Alarminrichtungen verbunden sind	Wartung	erprobt	
	IV - 3	Aktivkohlefiltration	CKW, PAK, KW	Adsorptionseffekte auf Filtermasse	Regeneration der Aktivkohle; z. T. nur geringe Beladungskapazitäten; Verdrängungseffekte; einfacher Betrieb, wirksam bei Konzentrationsschwankungen	erprobt	sofort und auf Dauer wirksam
	IV - 4	Strippen	leichtflüchtige Verbindungen	Überführung in die Gasphase durch geeignete Belüftungssysteme (Wellbahn-, Füllkörper-Kolonnen)	Abluftreinigung; Sauerstoffanreicherung; empfindlich gegen Konzentrationsschwankungen	erprobt	sofort und auf Dauer wirksam
	IV - 5	Ozonung/Chlorung	auch schwer abbaubare Verbindungen	sehr wirksame Oxidation von Wasserinhaltsstoffen	hohe Sicherheitsanforderung	erprobt	sofort und auf Dauer wirksam
	IV - 6	Fällung/Flockung	Schwermetalle, Phosphate, Cyanide	Feststoffabscheidung aus flüssiger Phase	Schlammentsorgung	erprobt	sofort und auf Dauer wirksam
	IV - 7	Sand-/Kiesfiltration	Schwebstoffe und bestimmte gelöste Inhaltsstoffe	Wasserrückhaltung aufgrund von Abscheidung, Ausflockung, Adsorption, chemischer Reaktion oder mikrobiologischer Vorgänge	Schlammmentsorgung	erprobt	sofort und auf Dauer wirksam
	IV - 8	Durchlüften von Räumen	Deponiegas	durch Zumischen von Frischluft zur Vermeidung von gesundheitsschädlichen oder explosiven Gasgemischen in geschlossenen Räumen	Wartung	erprobt	sofort und auf Dauer wirksam
	IV - 9	Gaswarneinrichtung	Deponiegas	mit Meßgeräten kombinierte Warneinrichtung, die ein Überschreiten eines festgelegten Grenzwerts signalisieren	Wartung	erprobt	
	IV - 10	Nutzungseinschränkung	alle Arten	Anbauverbot für bestimmte Nutzpflanzen; Fischverbot; Betretungsverbot von Räumen; Absperren von Grundstücken; keine Nutzung für Freizeitzwecke (Kinderspielfeld, Grillplatz, Zeitplatz)		erprobt	

Anlage 3: Untersuchungsparameter

Anlage 3.1

<p>Art der abgelagerten Stoffe oder Abfälle bzw. Art der vermuteten Kontamination des Bodens</p> <p>Untersuchungsparameter für Abfallproben und kontaminierte Bodenproben, Bruttoanalyse zur Bestimmung des Gesamtgehaltes bestimmter Inhaltsstoffe (Eluatanalyse siehe Wasserproben)</p>	ehem. Gaswerksgelände, gesamt	Teergrube, Ammoniakgrube	Gasreinigung	Benzolwäscher	Galvanikbetrieb, allgemein	Hartverchromung	Verzinkerei	Metallverarbeitende Betriebe	Farb- und Lackherstellung/Verarbeitung	Textilherstellung	Lederherstellung	Papier/Zellstoff	Mineralölprodukte	Teerverarbeitung	Kunststoff/Gummi/Reifen	Bauschutt/Trümmerschutt	Schlacken	Aschen/Flugaschen/Filterstäube	Schrott, Schrottplätze	usw.
Farbe																				
Geruch																				
Konsistenz																				
Homogenität																				
Brennbarkeit, Flammpunkt																				
Heizwert																				
Abdampfdruckstand																				
Glührückstand																				
Organisch gebundener Kohlenstoff																				
Organisch gebundenes Chlor bzw. Halogen																				
Anorganisches Chlor																				
Organischer Schwefel																				
Anorganischer Schwefel																				
Kohlenwasserstoffe																				
leichtflüchtige AKW's Benzol/Toluol/Xylol																				
Teerkohlenwasserstoffe																				
PAK's																				
schwerflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe																				
PCB's																				
HCH's																				
PCP																				
HCB																				
Phenole wdf.																				
Quecksilber																				
Arsen																				
Blei																				
Cadmium																				
Zink																				
Kupfer																				
Nickel																				
Chrom																				
Eisen																				
Mangan																				
Calcium																				
Magnesium																				
Natrium																				
Kalium																				
Cyanidgehalt, gesamt																				
Cyanidgehalt, leicht freisetzbar																				
Chlorid																				
Fluorid																				
Sulfat																				
Carbonat																				

Anlage 3.2

<p>Art der abgelagerten Stoffe oder Abfälle bzw. Art der vermuteten Kontamination des Bodens</p> <p>Untersuchungsparameter für Eluate von Bodenproben Eluate von Abfallproben</p>	ehem. Gaswerksgelände, gesamt	Teergrube, Ammoniakgrube	Gasreinigung	Benzolwäscher	Galvanikbetrieb, allgemein	Hartverchromung	Verzinkerei	Metallverarbeitende Betriebe	Farb- und Lackherstellung/Verarbeitung	Textilherstellung	Lederherstellung	Papier/Zellstoff	Mineralölprodukte	Teerverarbeitung	Kunststoff/Gummi/Reifen	Bauschutt/Trümmerschutt	Schlacken	Aschen/Flugaschen/Filterstäube	Schrott, Schrottplätze usw.
Farbe, qualitativ																			
Trübung, qualitativ																			
Geruch, qualitativ																			
Farbe, Extinktion bei 436 nm																			
Temperatur																			
Elektrische Leitfähigkeit																			
pH-Wert																			
Säurekapazität bis pH 4,3																			
Gesamthärte																			
Abdampfrückstand																			
Glührückstand																			
Calcium																			
Magnesium																			
Natrium																			
Kalium																			
Eisen																			
Mangan																			
Ammonium																			
Nitrit																			
Nitrat																			
Chlorid																			
Fluorid																			
Sulfat																			
Phosphat																			
Borat																			
Cyanid, leicht freisetzbar																			
Cyanid, gesamt																			
Sauerstoff																			
Quecksilber																			
Arsen																			
Blei																			
Cadmium																			
Zink																			
Kupfer																			
Nickel																			
Chrom																			
Chrom (VI)																			
Schwefelwasserstoff/Sulfide																			
UV-Extinktion bei 254 nm																			
TOC/DOC Organischer Kohlenstoff																			
CSB Chemischer Sauerstoffbedarf																			
AOX adsorbierbares org. gebundenes Halogen																			
Kohlenwasserstoffe																			
Phenol-Index																			
Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe GC/ECD																			
Benzol, Toluol, Xylole, Lösemittel halogenfrei GC/FID																			
Teerkohlenwasserstoffe																			
PAK Polycyclische aromat. Kohlenwasserstoffe																			
PCB Polychlorierte Biphenyle																			
Pestizide																			

Anlage 3.3

<p>Art der abgelagerten Stoffe oder Abfälle bzw. Art der vermuteten Kontamination des Wassers</p> <p>Untersuchungsparameter für Sickerwasser</p>	ehem. Gaswerksgebiete, gesamt	Teergrube, Ammoniakgrube	Gasreinigung	Benzolwäscher	Galvanikbetrieb, allgemein	Hartverchromung	Verzinkerei	Metallverarbeitende Betriebe	Farb- und Lackherstellung/Verarbeitung	Textilherstellung	Lederherstellung	Papier/Zellstoff	Mineralölprodukte	Teerverarbeitung	Kunststoff/Gummi/Reifen	Bauschutt/Tümmerschutt	Schlacken	Aschen/Flugaschen/Filterstäube	Schrott, Schrottplätze	usw.
Farbe, qualitativ																				
Trübung, qualitativ																				
Geruch, qualitativ																				
Farbe, Extinktion bei 436 nm																				
Temperatur																				
Elektrische Leitfähigkeit																				
pH-Wert																				
Säurekapazität bis pH 4,3																				
Gesamthärte																				
Abdampfrückstand																				
Glührückstand																				
Calcium																				
Magnesium																				
Natrium																				
Kalium																				
Eisen																				
Mangan																				
Ammonium																				
Nitrit																				
Nitrat																				
Chlorid																				
Fluorid																				
Sulfat																				
Phosphat																				
Borat																				
Cyanid, leicht freisetzbar																				
Cyanid, gesamt																				
Sauerstoff																				
Quecksilber																				
Arsen																				
Blei																				
Cadmium																				
Zink																				
Kupfer																				
Nickel																				
Chrom																				
Chrom (VI)																				
Schwefelwasserstoff/Sulfide																				
UV-Extinktion bei 254 nm																				
TOC/DOC Organischer Kohlenstoff																				
CSB Chemischer Sauerstoffbedarf																				
AOX adsorbierbares org. gebundenes Halogen																				
Kohlenwasserstoffe																				
Phenol-Index																				
Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe GC/ECD																				
Benzol, Toluol, Xylole, Lösemittel halogenfrei GC/FID																				
Teerkohlenwasserstoffe																				
PAK Polycyclische aromat. Kohlenwasserstoffe																				
PCB Polychlorierte Biphenyle																				
Pestizide																				

Anlage 3.4

<p>Art der abgelagerten Stoffe oder Abfälle bzw. Art der vermuteten Kontamination des Wassers</p> <p>Untersuchungsparameter für Grundwasser Oberflächenwasser</p>	ehem. Gaswerksgebiete, gesamt	Teergrube, Ammoniakgrube	Gasreinigung	Benzolwäscher	Galvanikbetrieb, allgemein	Hartverchromung	Verzinkerei	Metallverarbeitende Betriebe	Farb- und Lackherstellung/Verarbeitung	Textilherstellung	Lederherstellung	Papier/Zellstoff	Mineräolprodukte	Teerverarbeitung	Kunststoff/Gummi/Reifen	Bauschutt/Trümmerschutt	Schlacken	Aschen/Flugaschen/Filterstäube	Schrott, Schrottplätze	usw.
Farbe, qualitativ																				
Trübung, qualitativ																				
Geruch, qualitativ																				
Farbe, Extinktion bei 436 nm																				
Temperatur																				
Elektrische Leitfähigkeit																				
pH-Wert																				
Säurekapazität bis pH 4,3																				
Gesamthärte																				
Abdampfrückstand																				
Glührückstand																				
Calcium																				
Magnesium																				
Natrium																				
Kalium																				
Eisen																				
Mangan																				
Ammonium																				
Nitrit																				
Nitrat																				
Chlorid																				
Fluorid																				
Sulfat																				
Sulfid																				
Phosphat																				
Borat																				
Cyanid, leicht freisetzbar																				
Cyanid, gesamt																				
Sauerstoff																				
Quecksilber																				
Arsen																				
Blei																				
Cadmium																				
Zink																				
Kupfer																				
Nickel																				
Chrom																				
Chrom (VI)																				
Schwefelwasserstoff/Sulfide																				
UV-Extinktion bei 254 nm																				
TOC/DOC Organischer Kohlenstoff																				
CSB Chemischer Sauerstoffbedarf																				
AOX adsorbierbares org. gebundenes Halogen																				
Kohlenwasserstoffe																				
Phenol-Index																				
Leichtflüchtige Halogenkohlenwasserstoffe GC/ECD																				
Benzol, Toluol, Xylole, Lösemittel halogenfrei GC/FID																				
Teerkohlenwasserstoffe																				
PAK Polycyclische arom. Kohlenwasserstoffe																				
PCB Polychlorierte Biphenyle																				
Pestizide																				

Abbildungsverzeichnis

Bild 1:	Handlungsmatrix.....	3
Bild 2 :	Schematische Darstellung der zeitlichen Veränderung der Wirksamkeit von Sanierungstechniken	35
Bild 3:	Kostenwirksamkeit von Maßnahmen	40
Bild 4a und b:	Beispiele einer Kostenwirksamkeitsbetrachtung bei einer Altlast. Alternative Maßnahmen U, V, W, X	42
Bild A-1:	Übersicht über die geologischen Standorttypen.....	61

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Überblick über Sensorsysteme und ihre Anwendung in der Fernerkundung	9
Tab. 2:	Parameterumfang der Stufe 1	20
Tab. 3:	Bioindikationsverfahren zur Beurteilung stofflicher Belastungen	29
Tab. 0	Sicherungs- und Sanierungstechniken zur Verringerung der Stoffgefährlichkeit am Standort	81
Tab. I	Sicherungs- und Sanierungstechniken zur Verringerung des Schadstoffeintrages ...	83
Tab. II	Sicherungs- und Sanierungstechniken zur Verringerung des Schadstoffeintrages ...	85
Tab. III	Sicherungs- und Sanierungstechniken zur Verringerung des Schadstofftransportes und der - wirkung	86
Tab. IV	Sicherungs- und Sanierungstechniken zur Verringerung von Gefahren im Bereich von Nutzungen	87

Indexverzeichnis

A

Abfallprobe	
Allgemeines	14
Abfallrecht	51
abfallrechtliche Überwachung	53
aktives Monitoring	
Allgemeines	27
Altablagerung	
Allgemeines	51
Altlasten	
Allgemeines	51
Altstandort	
Allgemeines	51
Amphibien	29
Analysenverfahren	
Allgemeines	16
Asseln	29
atmosphärische Luft.....	25
Ausscheiden und Archivieren (A)	50
Auswahl unter mehreren Polizeipflichtigen	59

B

Belassen in der Altlastendatei (B)	48
Bewertung	
Ergebnis	2
Bioindikationsverfahren	29
Bioindikatoren	25
biologische Untersuchungen.....	25
Biomonitoring.....	25
Biotest.....	27
Boden und Abfall Probennahme	
Allgemeines	14
Bodenluft	
Allgemeines	24

D

Deponiegas	
Allgemeines	23

E

eingehende Erkundung für Sanierungs- und Sicherungsvorschläge	5
elektromagnetische Messungen	12
Erkundung	5
Kostentragung.....	53
Erkundungsmaßnahmen	
Allgemeines	6
Erkundungsziel	5

F

Fische	29
Flechten.....	29

G

Gasbildungen	23
geoelektrische Messungen	13
geophysikalische Methoden im Bohrloch	14
Graskulturen.....	29
gravimetrische Messungen.....	12
Grundwasseruntersuchungen	17
Grünkohl	29

H

Haftung für Folgeschäden	45
Handlungsstörer	57
hydrogeologische Erkundungen.....	10
hydrogeologische Standorttypen (Übersicht)	60

I

illegale Ablagerungen	52
-----------------------------	----

K

Käferfauna.....	29
Kosten	
Sanierung	35
Kostentragung	
Erkundung und Sanierung.....	53
Kosten-Wirksamkeits-Betrachtung.....	39

L

Laich.....	29
Leuchtbakterien.....	29
Luftbilder	7

M

magnetische Anomalien.....	12
mechanische Sondierungsverfahren	10

N

nähere Erkundung	5
------------------------	---

O

Oberflächenwasser	22
orientierende Erkundung	
Allgemeines	4

P

passives Biomonitoring.....	27
-----------------------------	----

R

Rechtsgrundlage.....	51
Regenwürmer	29

S		Sickerwasseruntersuchungen	21
Sanierung		Sondierungsverfahren	10
Kosten	35	Stillegung von Anlagen	52
Kostentragung	53	T	
Sanierungsmaßnahmen	33	technische Erkundung	4
Sanierungsplan	43	V	
Sanierungstechniken (Übersicht)	80	Verhaltensstörer	57
Sanierungsvorschlag	42	W	
Sanierungsziel		Wachteln	29
Allgemeines	32	Wasserprobe	
Schrägbilder	7	Allgemeines	17
seismische Messungen	13	wasserrechtliche Vorschriften	53
Senkrechtbilder	7	Z	
Sicherung und Sanierung von Altlasten		Zulassungsanträge	43
Allgemeines	33	Zustandsstörer	58
Techniken (Übersicht)	80		